

ARTICLE INFO

| | |
|-----------|-------------------|
| Received | 12 September 2025 |
| Revised | 22 October 2025 |
| Accepted | 24 October 2025 |
| Published | 30 December 2025 |

GESTIONE RESILIENTE DELLE ACQUE METEORICHE

Uno strumento a supporto della progettazione

RESILIENT MANAGEMENT OF STORMWATER

A tool to support design

Philippe Marin, Lidia Maria Giannini, Fabrizio Tucci

ABSTRACT

Il cambiamento climatico sta causando il verificarsi di eventi climatici estremi sempre più intensi, con alluvioni improvvise che si alternano a lunghi periodi di siccità. L'impermeabilizzazione dei suoli amplifica il deflusso e mette in crisi i sistemi di drenaggio tradizionali. In questo contesto nasce il 'Water Management systems' (WMS), uno strumento parametrico di supporto alla progettazione preliminare di soluzioni per la gestione resiliente delle acque meteoriche. Sviluppato a partire da un'analisi critica degli strumenti esistenti e fondato su un database strutturato di dati tecnici e norme, il WMS è implementato in Rhino-Grasshopper e integrato con fogli di calcolo: lo strumento consente di modellare e verificare soluzioni e scenari multipli a fronte di condizioni di contesto, supportando decisioni progettuali informate, come dimostrato dalla sua applicazione su un progetto pilota.

Climate change is causing increasingly intense extreme weather events, with sudden floods alternating with long periods of drought. The impermeabilisation of soils amplifies runoff and strains traditional drainage systems. In this context, the Water Management systems (WMS) was developed as a parametric tool to support the preliminary design of resilient stormwater management solutions. Developed from a critical analysis of existing tools and based on a structured database of technical data and regulations, the WMS is implemented in Rhino-Grasshopper and integrated with spreadsheets. The tool enables the modelling and verification of multiple solutions and scenarios based on contextual conditions, supporting informed design decisions, as demonstrated in a pilot project.

KEYWORDS

gestione delle acque meteoriche, resilienza architettonica e urbana, simulazione e modellazione, progettazione tecnologica ambientale, strumento di supporto alla progettazione

stormwater management, architectural and urban resilience, simulation and modelling, environmental technological design, design support tool

Philippe Marin, PhD, is a Full Professor at the School of Architecture of Grenoble (ENSAG), Université Grenoble Alpes (France). He currently directs the MHA Laboratory (Methods and History of Architecture). He is a Co-Director of AI4ARCHI (Artificial Intelligence for Generative Architectural and Urban Design) and a Co-Director of the ACCN scientific and educational network for Architecture, Design, and Digital Culture. His research focuses on parametric and generative modelling and digital fabrication. E-mail: philippe.marin@grenoble.archi.fr

Lidia Maria Giannini, Architect and PhD, is a Postdoctoral Research Fellow at the Department of Planning, Design, and Technology of Architecture (PDTA), 'Sapienza' University of Rome (Italy) and collaborates in research with the MHA Laboratory (Methods and History of Architecture) at ENSAG-UGA (Grenoble). She participates in projects and research activities on environmental sustainability and bioclimatic models, focusing on resilient design through integrated management of urban stormwater. E-mail: lidiamaria.giannini@uniroma1.it

Fabrizio Tucci, Architect and PhD, is a Full Professor of Environmental Design at the 'Sapienza' University of Rome (Italy). He has been Scientific Director of national and international projects and research focusing on design quality and environmental design, the relationship between design and technological innovation, and environmental and social sustainability in architectural and urban regeneration processes. E-mail: fabrizio.tucci@uniroma1.it



Il riscaldamento globale sta modificando in modo significativo il ciclo idrologico naturale (Masson-Delmotte et alii, 2021), rendendo gli eventi estremi legati all'acqua sempre più frequenti e violenti. Dal 2000 le alluvioni sono aumentate del 134% e i periodi di siccità del 29% (WMO, 2021): il cambiamento climatico sta producendo un'intensificazione e un'accelerazione del ciclo idrologico (Vahid et alii, 2009), con precipitazioni brevi e ad elevata intensità, che tuttavia non comportano necessariamente un aumento complessivo delle precipitazioni. Nelle regioni più vulnerabili, come l'hotspot del Mediterraneo, piogge estreme e fenomeni di inondazione improvvisa si combinano con periodi di siccità prolungati, esacerbando le condizioni di rischio per le città (EEA, 2024).

La progressiva artificializzazione dei suoli urbani ha ridotto il loro grado di permeabilità e la loro capacità di infiltrazione e ha accelerato i tempi di corruzione, determinando deflussi più rapidi verso i recettori, con picchi di piena anticipati e più intensi: le infrastrutture tradizionali di drenaggio, spesso obsolete o sottodimensionate, risultano pertanto inefficaci. Alle problematiche di ordine quantitativo di allagamenti ed erosione si aggiungono quelle di ordine qualitativo dovute all'inquinamento delle acque di ruscellamento, con ricadute ecosistemiche di grande rilevanza (Negretto et alii, 2021).

La gestione delle acque meteoriche da eventi estremi assume dunque un ruolo strategico nel dibattito internazionale. La progettazione architettonica e urbana svolge un ruolo chiave nell'introduzione di soluzioni verdi-blu e grigie (UN-Habitat, 2024) capaci di rafforzare la resilienza degli spazi urbani e contribuire al ripristino dell'equilibrio ecosistemico delle città. Queste soluzioni sono in linea con gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG) dell'Agenda 2030 (UN, 2015), agendo direttamente sulla gestione sostenibile e integrata della risorsa idrica (SDG 6) e, in modo trasversale, sul sistema urbano, favorendo città resilienti e inclusive (SDG 11), modelli circolari di gestione delle risorse (SDG 12) e azioni per il clima (SDG 13).

Approcci progettuali integrati combinano soluzioni ecologiche di recupero e riuso e sistemi di drenaggio urbano sostenibile; tuttavia, affinché risultino efficaci, occorre avere una piena consapevolezza delle molteplici dinamiche ambientali coinvolte, sin dalle prime fasi di sviluppo del progetto. Studi recenti hanno sviluppato in tal senso strumenti di simulazione e modellazione urbana, dimostrando l'importanza di approcci multi-risorsa a supporto della progettazione resiliente. L'uso di piattaforme integrate consente di mettere in relazione la gestione idrica con la prestazione energetica e le condizioni microclimatiche (Tucci et alii, 2022; Valente et alii, 2024), evidenziando le sinergie che intercorrono per una gestione ecologica e sostenibile delle risorse naturali e favorendo lo sviluppo di modelli di governance più efficaci e interconnessi.

In questo contesto la ricerca propone di affiancare agli strumenti strategici esistenti nuovi strumenti operativi, capaci di integrare simulazione idrica e modellazione tecnologica basata su dati tecnici e prescrizioni locali. Infatti, se l'uso di molteplici software di simulazione microclimatica è consolidato nella prassi progettuale (Ibrahim, Kershaw and Shepherd, 2020), la simulazione idrica risulta spesso associata a competenze settorializzate e la sua integrazione in architettura rimane ancora un campo di indagine aperto (Leskens, Brugnach and Hoek-

stra, 2014). Ambienti di progettazione parametrica consentono di sviluppare algoritmi tesi a una rappresentazione del fenomeno meteorico e alla valutazione di scenari di rischio (Morschek, König and Schneider, 2019), ma tali strumenti non supportano direttamente la scelta e la verifica tecnica delle soluzioni progettuali per la gestione di eventi climatici estremi.

La ricerca muove da queste considerazioni allo scopo di elaborare uno strumento integrato orientato alla progettazione preliminare di soluzioni tecnologiche di gestione resiliente delle acque meteoriche urbane. Questo obiettivo guida la formulazione del 'Water Management systems' (WMs), uno strumento fondato sull'interazione tra workflow parametrici e fogli di calcolo. Dal forte carattere sperimentale e multidisciplinare, il WMs unisce competenze progettuali e verifiche tecniche con i principi di idrologia urbana rigenerativa, garantendo al contempo un'applicazione coerente con la normativa locale.

In particolare lo strumento si colloca a supporto dell'applicazione delle verifiche di 'invarianza idraulica e idrologica'¹ previste in alcune regioni italiane per la progettazione di soluzioni di drenaggio sostenibili; tuttavia l'adozione non sistematica di queste verifiche nel territorio nazionale e la frammentazione metodologica² tra regioni rendono i principi difficilmente applicabili nella progettazione architettonica. Il WMs fornisce una rielaborazione originale di metodi di calcolo consolidati, riorganizzando conoscenze specifiche in un database di informazioni e fogli di lavoro facilmente consultabili e impiegabili dai progettisti; inoltre l'affiancamento innovativo di strumenti di modellazione parametrica supporta la modellazione informata di ogni soluzione e la visualizzazione in tempo reale all'interno di specifici contesti urbani, agevolando le fasi di dimensionamento e verifica.

Il contributo illustra dapprima il contesto di riferimento, inquadrando il tool nel panorama degli strumenti di simulazione e modellazione esistenti e motivando gli obiettivi della ricerca; sono poi presentati il processo metodologico e le fasi di lavoro che hanno condotto alla formulazione dello strumento, in seguito descritto nei suoi componenti, esplicitandone l'articolazione e le funzionalità. Il tool è testato su un progetto pilota descrivendo fasi applicative e risultati ottenuti; infine le conclusioni delineano potenzialità e limiti del WMs, aprendo a future prospettive di ricerca.

Simulazione e modellazione per la gestione idrica

Le attività di simulazione e modellazione rivestono un ruolo chiave nella gestione delle dinamiche ambientali e quando svolte ex ante ed ex post consentono di indirizzare le scelte progettuali verso le alternative più efficaci, secondo un'ottica esigenza-prestazionale (Dierna, 1995). Software di simulazione microclimatica sono stati impiegati per supportare e verificare il progetto di adattamento e mitigazione ambientale: esperienze progettuali innovative hanno applicato strumenti ad 'alta risoluzione' come ENVI-met (Tucci et alii, 2022; Valente et alii, 2024), o simulazioni parametriche svolte tramite i Ladybug Tools (Zarcone, Nava and Tucci, 2024), dimostrando le relazioni esistenti tra reti urbane multiple, quali energia, bioclimatica e risorse naturali. Parallelamente sono stati elaborati approcci sperimentali che uniscono, alla simulazione ambientale, algoritmi generativi basati sull'intelligenza artificiale in grado di innescare strategie di proget-

tazione adattiva (Nava and Melis, 2024). La gestione integrata della risorsa idrica, centrale per il raggiungimento di obiettivi climatici e ambientali, richiede tuttavia strumenti di simulazione e modellazione specifici, capaci di supportare valutazioni tecniche e progettuali sin dalle fasi preliminari. Programmi di simulazione idrica consentono di diagnosticare eventi meteorologici estremi e riprodurre fenomeni fisici di deflusso e drenaggio nelle reti, tuttavia necessitano di competenze specialistiche per la corretta modellazione e post-elaborazione dei risultati e la standardizzazione delle soluzioni tecniche prodotte appare insufficiente rispetto al panorama di soluzioni alternative e sostenibili potenzialmente applicabili nel progetto (Leskens, Brugnach and Hoekstra, 2014).

In questo quadro gli ambienti di modellazione parametrica si sono progressivamente affermati come laboratori digitali di integrazione fra progettazione e simulazione ambientale (Marin, 2018). Tra le piattaforme più diffuse Rhino-GH-Grasshopper (Rhino-GH) si distingue per l'elevata espandibilità e rapidità di esecuzione, consentendo di svolgere analisi multiple all'interno dello stesso ambiente, caratteristiche che lo rendono uno strumento particolarmente efficace per la simulazione dinamica del comportamento idrico e la sua correlazione con strategie di progettazione integrata. Un'importante fase della ricerca ha quindi riguardato la mappatura delle risorse disponibili in ambiente Rhino-GH allo scopo di costruire uno stato dell'arte aggiornato e critico che rappresentasse la base conoscitiva per la definizione di un nuovo strumento progettuale.

L'insieme di strumenti sviluppati in ambiente Rhino-GH per l'integrazione della risorsa idrica nei processi di progettazione può essere ricondotto a due macrocategorie fondamentali: plug-in di simulazione, orientati alla rappresentazione degli eventi meteorici, e toolkit di simulazione e valutazione. I plug-in di simulazione possono essere ulteriormente classificati in semplificati, a base logica e a base fisica, e si occupano della visualizzazione dei flussi idrici su topografie, rispettivamente sulla base di interfacce preimpostate in Rhino, tramite costruzioni di script personalizzati basati su cicli iterativi, o tramite simulazioni fisiche di collisioni particellari.

Parallelamente, toolkit di simulazione e valutazione associano alla restituzione dei deflussi una dimensione progettuale o prestazionale: i Performance Workflows contenuti nel Land Kit consentono la modellazione idraulica di flussi e volumi di stoccaggio sulla base di parametri climatici nordamericani; lo Spatial Resilience Toolbox – Flooding (SRTF) consente di simulare scenari di ruscellamento, inondazioni fluviali e maree e valuta rischi di allagamento, ruscellamento ed erosione alla scala urbana (Morschek, König and Schneider, 2019).

L'analisi comparata degli strumenti di simulazione e modellazione idrica (Tab. 1) evidenzia alcune criticità rilevanti, come la scarsa adattabilità a contesti climatici e normativi nazionali, l'obsolescenza o necessità di licenza, e il funzionamento tramite script non personalizzabili dall'utente. L'uso di strumenti a base fisica accresce tempi e complessità di simulazione, senza tuttavia aggiungere informazioni utili al progetto preliminare rispetto a simulazioni iterative su base logica. Inoltre lo sviluppo di toolkits per la valutazione del rischio, fondamentale in fase di programmazione strategica, non fornisce supporto alla progettazione operativa di soluzioni resilienti per la gestione delle acque meteoriche urbane.

| Typology | Name | Function | Strengths | Weaknesses |
|---|--|--|---|--|
| Simulation plug-ins | | | | |
| Simplified | eVe rain | It simulates rainwater runoff on 3D geometries | Intuitive interface Fast simulation | Limited Rhino compatibility Non-customisable scripts Does not simulate physical interactions |
| Logic-based | Hoopsnake | It enables iterative loops by feeding output data back into inputs. | Customizable scripts Fast iterative simulations | Limited Rhino compatibility Does not simulate physical interactions |
| | Anemone | It enables iterative loops via Loop Start and Loop End components | Customizable scripts Fast iterative simulations Good Rhino compatibility | Does not simulate physical interactions |
| Physic-based | Kangaroo Physics | It supports interactive simulation, form-finding, optimization, and constraint solving | Live physics engine Handles complex interactions | Higher complexity / resolution than needed in preliminary design Slower simulation speed |
| Simulation and evaluation toolkits | | | | |
| | Land Kit | It supports landscape design focusing on topography, paving, planting, hydrology, and embodied carbon | Hydrological analysis with water flow visualization Advanced stormwater analysis (Pro version) | Full functionality only in paid Pro version Non-customisable scripts Rainfall parameters tailored to US contexts |
| | Spatial Resilience Toolbox Flooding (SRTF) | It assesses urban flood risks from rain runoff, tidal, and river flooding; uses Kangaroo Physics for runoff simulation | Comprehensive flood risk assessment Supports urban planning strategies Open-access course available | Accuracy depends on detailed topography Does not support operational design |

| Base info | Selection | Parameters | Values |
|--|---|---------------|------------------------|
| Zone | ✓ A: Tyrrhenian B: Apennine C: Adriatic | | |
| | | KT (Tr = 2) | [adim] 0.89 |
| | | KT (Tr= 5) | [adim] 1.22 |
| Sub-Zone (SZO) and related Growth Coefficients (KT) | ✓ SZO A SZO B SZO C | KT (Tr= 10) | [adim] 1.49 |
| | | KT (Tr= 20) | [adim] 1.84 |
| | | [.....] | [adim] [.....] |
| | | KT (Tr= 1000) | [adim] 4.77 |
| Pluviometric Homogeneous Area (APO) related Regionalisation parameters | APO: A5 | C | [mm/m] 0.03031 |
| | | D | [mm] 60.09 |
| | | b | [h] 0.1621 |
| | | m | [adim] 0.7748 |
| | | μi0/ μi24 | [adim] 48.28 |
| | | δ | [cost] 1.15 |
| Return period (Tr) | rural areas | Tr=10 | [yr] |
| | ✓ residential areas | Tr=20 | [yr] |
| | city center / industrial or commercial areas | Tr=30 | [yr] |
| | road or railroad underpasses | Tr=5 | [yr] |
| Nearest weather station height a.s.l. (Z) | Name: Fosso di Pratolungo | Z | [m] 24 |
| Mean of the annual maximum daily rainfall height (μhd) | | μhd | [mm] 60.81744 |
| Mean instantaneous intensity (μi0) | | μi0 | [mm/h] 140.6961 |
| Rainfall height | $H(T_r, t) = [\mu_{i0}(t) \times K_T \times (\frac{b}{b+t})^m] \times t = I(T_r, t) \times t$ | | |

Dalle criticità individuate emerge la necessità di uno strumento operativo che integri simulazione, modellazione e verifiche tecniche in un workflow coerente. Scopo della ricerca è sviluppare una procedura che consenta di affiancare i progettisti nelle fasi preliminari di scelta, dimensionamento e verifica di soluzioni progettuali per una gestione resiliente delle acque meteoriche urbane, integrando dati climatici, prescrizioni locali e informazioni tecniche in uno strumento flessibile e agilmente consultabile. Lo strumento WMs è concepito per superare i limiti connessi alla richiesta di conoscenze specialistiche, adottando metodologie comprensibili per i progettisti e offrendo accesso a un database di informazioni strutturate per un'applicazione pratica.

Il WMs associa alle funzionalità di visualizzazione dei flussi idrici consolidate in letteratura moduli specifici finalizzati alla progettazione di soluzioni di gestione sostenibile delle acque meteoriche, integrando modellazione parametrica di superfici e soluzioni di progetto e fogli di calcolo per la validazione dei dati estratti dal modello (Fig. 1). Lo strumento supporta decisioni progettuali più consapevoli e informate, offrendo un focus sulla gestione idrica in un panorama di gestione integrata delle risorse naturali auspicabile per la realizzazione di ecosistemi urbani resilienti.

Contesto metodologico e fasi di lavoro | La metodologia di ricerca, basata su un'analisi critica dello stato dell'arte, si articola in una fase preliminare, seguita da una fase operativa di costruzione del WMs. La fase preliminare consiste nella selezione delle soluzioni da modellare nel toolbox parametrico e nella selezione dei metodi da implementare nei fogli

Tab. 1 | Comparison among water simulation and modelling tools available in Grasshopper for Rhino (credit: the Authors, 2025).

Tab. 2 | Information for defining IDF curves according to the VAPI method (credit: the Authors, 2025).

| Hours [h] | Rainfall height [mm] | | | | | |
|-----------|----------------------|---------|----------|----------|-------|------------|
| | (Tr = 2) | (Tr= 5) | (Tr= 10) | (Tr= 20) | [...] | (Tr= 1000) |
| 1 | 27.22 | 37.31 | 45.57 | 56.27 | [...] | 145.88 |
| 2 | 33.65 | 46.13 | 56.33 | 69.57 | [...] | 180.35 |
| 3 | 37.6 | 51.54 | 62.94 | 77.73 | [...] | 201.5 |
| 4 | 40.52 | 55.54 | 67.83 | 83.76 | [...] | 217.15 |
| 5 | 42.86 | 58.76 | 71.76 | 88.62 | [...] | 229.73 |
| 6 | 44.84 | 61.47 | 75.07 | 92.71 | [...] | 240.33 |
| 7 | 46.56 | 63.83 | 77.95 | 96.26 | [...] | 249.55 |
| 8 | 48.09 | 65.92 | 80.51 | 99.42 | [...] | 257.73 |
| 9 | 49.47 | 67.81 | 82.81 | 102.27 | [...] | 265.11 |
| 10 | 50.72 | 69.53 | 84.92 | 104.86 | [...] | 271.85 |
| [...] | [...] | [...] | [...] | [...] | [...] | [...] |
| 24 | 62.23 | 85.3 | 104.18 | 128.65 | [...] | 333.5 |

Tab. 3 | Rainfall heights for the Fosso di Pratolungo Meteorological Station, Rome (credit: the Authors, 2025).

di calcolo. La selezione dei sistemi di gestione resiliente delle acque meteoriche è parte di un processo metodologico più ampio fondato sull'analisi di manuali tecnici e linee guida internazionali (Woods Ballard et alii, 2015) e sull'analisi critica di diciassette casi studio europei, scelti per la loro replicabilità in contesti mediterranei e urbani consolidati. L'analisi comparata dei casi studio ha consentito di individuare tre macro-strategie architettoniche di gestione idrica ricorrenti (water diversion, water reception e source control), sulla base delle quali classificare le trentasei soluzioni mappate nella letteratura. Le soluzioni sono ulteriormente filtrate sulla base di criteri di coerenza con gli obiettivi di controllo del deflusso urbano, rilevanza per la capacità di mitigazione degli eventi estremi e possibilità di modellazione accurata in ambiente Rhino-GH, conducendo alla scelta finale di dieci dispositivi da modellare nel toolbox (Fig. 2).

La selezione dei metodi sui quali strutturare i fogli di calcolo si basa su due criteri-chiave: l'applicabilità nelle fasi di progettazione preliminare e la compatibilità regolamentare. Di norma l'uso di metodi semplificati è raccomandato nella progettazione preliminare, supportato nelle fasi esecutive da modellazioni più complesse (ASTEE, 2017). Tra i metodi di dimensionamento proposti da regolamenti e linee guida sull'invarianza idraulica e idrologica è selezionato il 'metodo semplificato delle sole piogge'³, che consente di stimare i volumi di stoccaggio idrico richiesti per via analitica, operando un confronto tra le altezze di pioggia cadute nell'area e le altezze drenate dalle soluzioni tecnologiche: prerequisito è la conoscenza delle curve di Intensità-Durata-Frequenza (IDF) necessarie a definire le altezze pluviometriche di progetto. Per la loro stima la ricerca analizza il metodo VAPI fondato su un processo di regionalizzazione delle piogge intense in Italia⁴ (Ferrari and Versace, 1994), che consente di superare le problematiche associate all'assenza o incompletezza di dati pluviometrici storici, rendendone l'uso particolarmente efficace nella progettazione preliminare.

La costruzione operativa dello strumento si fonda sulle analisi preliminari svolte e si struttura intor-

no a tre momenti di lavoro principali. La prima fase consiste nella creazione di un database strutturato di informazioni normative e tecniche: all'interno del database sono raccolte le informazioni necessarie per l'applicazione del 'metodo delle sole piogge' e del metodo VAPI e sono esplicitati i criteri da adottare nella progettazione dei sistemi di gestione idrica, desunti da manuali e linee guida e riorganizzati in schede tecniche. L'insieme delle informazioni organizzate nel database costituisce la base conoscitiva per la corretta strutturazione dei fogli di calcolo e per la costruzione di workflow parametrici idonei alla modellazione delle dieci soluzioni tecnologiche selezionate.

La seconda fase di lavoro è orientata alla creazione di tre fogli di calcolo (Tabb. 2-7) finalizzati rispettivamente alla costruzione delle curve IDF secondo il metodo VAPI e alla determinazione dei volumi di progetto e delle massime altezze di stoccaggio in applicazione del metodo 'delle sole piogge'. I fogli applicano le informazioni contenute all'interno del database e le riorganizzano allo scopo di ottimizzare l'inserimento e l'estrazione dei dati. Poiché la modellazione parametrica ha richiesto un arco temporale maggiore, i fogli sono testati inizialmente per via 'statica', verificandone il corretto funzionamento. Ciascun foglio è predisposto per essere potenzialmente indipendente, prevedendo la possibilità di estensione delle metodologie di calcolo adottate, sulla base delle esigenze climatiche e regolamentari locali.

Infine la terza fase consiste nello sviluppo del toolbox parametrico in ambiente Rhino-GH. Uno script iterativo costruito utilizzando il plug-in a base logica Anemone consente di simulare i percorsi idrici nell'area (Claghorn, 2016), mentre la modellazione delle superfici e delle soluzioni progettuali è finalizzata alla creazione di componenti customizzati che possano ampliare le librerie GH tramite la progettazione attiva e consapevole di sistemi di gestione idrica. Le soluzioni sono modellate applicando un processo di astrazione dei componenti costituenti e di diversificazione delle configurazioni possibili. Al fine di garantire la massima flessibilità del modello

| PROJECT NAME: 02-V San Basilio | | Parameters | | Values |
|--------------------------------|--|-------------------|-------------------|------------------|
| Project area | A | [m ²] | | 111,548.63 |
| Location | Rome | | | |
| Return period | rural areas | Tr=10 | [yr] | |
| | ✓ residential areas | Tr=20 | [yr] | |
| | city center/industrial or commercial areas | Tr=30 | [yr] | 20 |
| | road or railroad underpasses | Tr=50 | [yr] | |
| Infiltration | soil permeability | k | k [m/s] | 0.000003 |
| | avg distance from highest water table | | [m] | 7 |
| No infiltration | admitted limited discharge | q | [l/s/ha] | 7 |
| | minimum discharge | Qmin | [l/s] | 3 |
| | total discharge rate | Qf out | [l/s] | 78.08 |
| ANTE | Active surface | Sa | [m ²] | 79,892.59 |
| | Runoff coefficient total | φtot | [adim] | 0.716 |
| POST | Active surface | Sa | [m ²] | 55,702.47 |
| | Runoff coefficient total | φtot | [adim] | 0.499 |

Tab. 4 | Basic information and evaluation of permeability before and after intervention (credit: the Authors, 2025).

tutti i componenti sono modellati sulla base di curve di input disegnate in Rhino e importate in GH e sono progettati per funzionare indipendentemente dall'orientamento delle curve di input. A fronte di script complessi ogni componente è racchiuso in cluster di pratico uso i quali contengono tutte le informazioni necessarie a guidare il progettista nell'inserimento dei parametri di input e nella verifica dei dati di output, in coerenza con le informazioni raccolte nel database.

Lo strumento WMs: componenti e funzionalità

Lo strumento WMs è composto dal toolbox parametrico che interagisce con i tre fogli di calcolo. Il funzionamento complessivo è sviluppato sulla base di un flowchart generale (Fig. 3) dove è possibile visualizzare le interazioni tra variabili progettuali, processi logici e scelte, nelle diverse fasi del progetto.

Il toolbox parametrico si articola in tre moduli: uno script di visualizzazione di flussi idrici; una sezione di 'Surface modelling'; una sezione di 'Solution modelling'. L'interfaccia del toolbox è essenziale: le dieci soluzioni con le loro rispettive varianti e i tre strumenti di superficie (per un totale di venti componenti) sono organizzati in cinque categorie (Fig. 4). Per la visualizzazione dei flussi idrici si mette a disposizione uno script (Fig. 5) che, importata la topografia, consente di creare cicli di reiterazioni crescenti visualizzando in tempo reale il deflusso sotto forma di polilinee. L'adozione di un metodo di simulazione idrica a base logica, e non fisica, fornisce uno strumento immediato, capace di supportare efficacemente l'analisi dello stato di fatto e orientare scelte preliminari quali localizzazione ottimale delle soluzioni o azioni sulla topografia dei luoghi.

Il modulo di modellazione delle superfici include tre componenti: il primo 'Catchment Surfaces' è destinato alla modellazione delle superfici di deflusso delle acque meteoriche; il secondo 'Reception Surfaces-WMs' è finalizzato alla modellazione delle superfici occupate dalle soluzioni di gestione idrica progettate per contenere il deflusso; il terzo 'Surface typologies-runoff coefficient' consiste in una value list di coefficienti di ruscellamento basata sul-

| Solution: bioretention areas | | Parameters | | Values |
|------------------------------|--------------------------------|-------------|------------------------|-----------------|
| Infiltration | soil permeability | k | [m/s] | - |
| No infiltration | limited discharge | q | [l/s] | 0.0000007 |
| Design Surfaces | Total Surface | Stot | [m ²] | 17,930.07 |
| | Apport Surface | Sapp | [m ²] | 14,173.78 |
| | Infiltration Surface | Sinf | [m ²] | - |
| | Infiltration rate | Qf out | [m ³ /s] | - |
| Discharge | ✓ Limited discharge rate | Qf out | [m ³ /s] | 0.012 |
| | Inlet flow rate (if any) | Qf in | [m ³ /s] | - |
| | Discharge rate specific | qs | [mm/min] | 0.053 |
| Water storage | Maximum storage height | ΔH max [m] | [m] | 0.074 |
| | Required storage volume | Vmax | [m³] | 1,258.22 |
| | Design storage volume | Vd | [m ³] | 1,297.90 |
| | Delta volume | ΔV | [m³] | -39.68 |
| TO CHECK | Emptying time | Tv | [h] | 28.72 |

| Base Info | Parameters | | Values |
|----------------------------|---------------|-------------|--------------|
| Return period | Tr | [yr] | 20 |
| Sub-Zone: A | KT (Tr= 20) | [adim] | 1.84 |
| APO: A5 | b | [h] | 0.1621 |
| | m | [adim] | 0.7748 |
| Mean inst. intensity | μi0 | [mm/h] | 140.70 |
| Discharge rate specific | qs | [mm/min] | 0.05 |
| Max. storage height | ΔH max | [mm] | 73.97 |
| | ΔH max | [m] | 0.07 |
| Rainfall duration max | t max | [min] | 445 |
| Rainfall height max | H max | [mm] | 97.61 |
| Discharge height max | h max | [mm] | 23.64 |

Tab. 5 | Sizing and verification for each type of technological solution and sub-catchment area (credit: the Authors, 2025).

Tab. 6 | Definition of maximum water storage heights (credit: the Authors, 2025).

la letteratura⁵. L'applicazione simultanea di questi componenti nella modellazione delle superfici ex ante ed ex post consente di calcolare i valori di superficie attiva (Sa) e superficie di apporto (Sapp) a partire dalla superficie totale (Stot), ottenendo risultati processabili nei fogli Excel per il dimensionamento e la verifica del progetto (Fig. 6).

Il modulo di modellazione delle soluzioni contiene diciassette componenti, corrispondenti alle dieci soluzioni tecnologiche blu-verdi e grigie modellate e alle loro rispettive varianti. I componenti sono suddivisi, a seconda delle macro-strategie di gestione idrica cui fanno riferimento, nelle quattro categorie: Source Control, Water Diversion, Water Reception e Combined (Fig. 7). Ogni soluzione è modellabile sulla base di dati di ingresso, corrispondenti ai parametri dimensionali derivati dai manuali tecnici; variando i parametri di input all'interno di range prescritti è possibile visualizzare il variare di stratigrafie e risultati. Gli output consentono di verificare la conformità ai limiti dimensionali previsti ed estrarre dati quali superficie di infiltrazione (Sinf) eventuale e volume di stoccaggio idrico di progetto (Vd), da immettere nei fogli di calcolo (Fig. 8).

I tre fogli di calcolo, ciascuno con una funzione specifica ma interconnessa, elaborano i dati derivanti dalla modellazione per applicarli nelle verifiche di 'invarianza idraulica e idrologica'. Il primo foglio IDF Curve Construction – VAPI (Tabb. 2, 3), sulla base dei parametri di regionalizzazione previsti dal metodo VAPI, consente di costruire le curve IDF e determinare le altezze pluviometriche al variare dei tempi di ritorno (Tr), identificando le altezze corrispondenti all'evento meteorico di progetto da applicare nel metodo 'delle piogge' (Fig. 9).

Il secondo foglio, Project Area – Design Volumes (Tabb. 4, 5), comprende una tabella per l'area complessiva e un numero variabile di sotto-tabelle corrispondenti al numero di sotto-aree di captazione gestite da ciascuna tipologia di soluzione prevista. La prima tabella contiene, oltre alle informazioni di base dell'area di progetto, una sezione dedicata a paragonare la permeabilità ante e post-intervento sulla base dei valori di Sa estratti dal modello. Ciascuna sotto-tabella, a partire dalle informazioni contenute nella prima e dai dati provenienti dal modello

parametrico (Stot, Sa, Sapp, Sinf, Vd), calcola per ciascuna tipologia di soluzione le portate di drenaggio (qs) e i volumi di stoccaggio idrico richiesti (Vmax) prevedendo due scenari alternativi: possibilità o impossibilità di infiltrare le acque piovane al suolo. Il confronto tra Vmax richiesto e Vd di progetto, frutto della modellazione, consente di verificare il soddisfacimento dei volumi residui (ΔV) e, rapportando Vd e qs, è valutato il rispetto dei tempi di svuotamento (ASTE, 2017).

Il terzo foglio Maximum Storage Height (ΔH max) fa da ponte tra i due precedenti (Tabb. 6, 7): le massime altezze di stoccaggio idrico richieste (ΔH max) sono calcolate analiticamente come differenza tra le altezze di pioggia derivanti dal primo foglio e le portate di drenaggio estratte dal secondo (Fig. 10); ΔH max, reimmesso nel secondo foglio, completa il dimensionamento consentendo di determinare il Vmax richiesto.

Lo strumento nel suo complesso, a partire da dati di contesto e applicando metodologie consolidate, supporta la progettazione orientando i processi di predimensionamento e verifica di soluzioni tecnologiche singole e multiple. La modellazione di soluzioni sostenibili di gestione idrica rappresenta una novità nel campo degli strumenti progettuali parametrici, unendo conoscenze tecnico-dimensionali e possibilità di modifica in tempo reale. La realizzazione di fogli di calcolo che rielaborano dati tecnici, climatici e normativi in tabelle strutturate è un secondo elemento chiave: esso consente un ruolo attivo e consapevole del progettista, rendendo espliciti i passaggi procedurali ed agevolando la comprensione metodologica. L'intuizione di unire fogli Excel e modellazione parametrica, oltre a ottimizzare i processi di calcolo, offre al progettista un ambiente operativo interattivo nel quale visualizzare e valutare il progetto, come mostrato dall'applicazione sul caso di studio.

Applicazione del WMs: dal lotto tipo al progetto pilota | Lo strumento è testato per l'applicabilità nella progettazione architettonica seguendo un processo incrementale in due fasi: una prima applicazione su un lotto tipo di circa 0,40 ettari; una seconda applicazione su un progetto pilota di circa

11 ettari localizzato nel quartiere di Edilizia Residenziale Pubblica di San Basilio a Roma. Quest'ultimo è selezionato in virtù delle sue condizioni climatiche, fisiche e sociali, inclusi l'elevato grado di impermeabilizzazione, la scarsa qualità degli spazi aperti e la presenza di una rete fognaria inadeguata e di scarichi non autorizzati verso l'ambiente.

Il lotto tipo, ipotizzato nel medesimo contesto climatico del progetto pilota, è stato introdotto per verificare la funzionalità dello strumento in un'area di minore complessità. Poiché i dati elaborati dai fogli Excel si basano già su metodologie consolidate, per testare la validità dello strumento parametrico il calcolo di superfici e volumi di progetto è stato svolto in un primo momento manualmente su AutoCAD e poi applicando il WMs toolbox. Il confronto tra i dati ottenuti ha evidenziato non solo la maggiore accuratezza garantita dall'interazione dinamica tra fogli di calcolo e strumento parametrico, ma anche il potenziale di snellimento delle fasi di dimensionamento, ottimizzando i parametri di progetto.

A seguito della modellazione dello stato di fatto sono elaborati tre scenari progettuali alternativi (verde-blu, verde-blu e grigio, verde-blu naturalistico) ciascuno caratterizzato da soluzioni tecnologiche differenti per forma e natura (Fig. 11). Per ogni scenario si è proceduto al dimensionamento per tempi di ritorno (Tr) ventennali⁶, assumendo condizioni di suolo sia favorevoli sia sfavorevoli all'infiltrazione, ottenendo così sei scenari complessivi. In ogni scenario sono state individuate specifiche aree di captazione per ciascuna tipologia di soluzione, ottimizzate grazie alla modellazione parametrica. Mantenendo costante l'impronta al suolo di ogni soluzione e variando i parametri di input in funzione delle diverse condizioni di contesto, gli scenari sono stati comparati valutandone la performance ed evidenziando l'influenza del contesto sul dimensionamento e sulla scelta dei dispositivi (Fig. 12). I risultati mostrano come una condizione di suolo favorevole possa contribuire a ridurre dal 12 al 27% i volumi di stoccaggio minimi richiesti rispetto agli scenari impermeabili, a parità di soluzioni progettuali utilizzate. Inoltre, sebbene l'uso di soluzioni intensive grigie possa mostrarsi efficace in caso di suoli particolarmente permeabili (scenario 2), l'uso diffuso di soluzioni

verdi-blu si attesta comunque come maggiormente efficace nei casi di suoli sfavorevoli all'infiltrazione. Ciò è dimostrato dai risultati raggiunti dagli scenari 1 e 3, i quali mostrano una riduzione rispettivamente del 33% e del 39% rispetto alle condizioni ante operam.

Considerando come spesso la permeabilità dei suoli urbani risulti compromessa dagli interventi di antropizzazione, appare evidente l'importanza di prediligere, laddove possibile, soluzioni vegetate: queste evidenze hanno orientato l'applicazione dello strumento al progetto pilota di San Basilio, con l'obiettivo di elaborare proposte architettoniche innovative basate esclusivamente su tecnologie verdi-blu.

In San Basilio lo strumento è stato testato nella sua interezza. L'applicazione del toolbox parametrico alle condizioni ex ante consente di simulare le direzioni preferenziali del deflusso nel sito (Fig. 13) e analizzare lo stato delle superfici, caratterizzate da elevati coefficienti di runoff.

Il progetto, ispirato a casi studio internazionali simili per obiettivi, strategie e scala, si propone di rivitalizzare le corti e le aree verdi come elementi centrali in grado di ricevere la maggior parte dei volumi di pioggia. Tra i diciassette progetti europei sono stati pertanto selezionati quelli che presentano la 'water reception' come macro-strategia principale, integrando strategie complementari di 'water diversion' e 'source control'. Sono stati analizzati nel dettaglio due ecoquartieri – Des Docks a Saint-Ouen e Île Seguin a Boulogne-Billancourt – e la Watersquare Benthemplein a Rotterdam, rappresentativi della capacità di realizzare spazi urbani adattivi multi-

funzionali, integrando grandi capacità di accumulo idrico a funzioni fruttive e sociali.

Il progetto elaborato integra alla de-impermeabilizzazione dei suoli, sistemi per lo stoccaggio delle piogge intense, l'accumulo delle acque piovane, la fitodepurazione delle acque grigie e il retrofitting tecnologico degli edifici e degli spazi aperti (Fig. 14). Tra le soluzioni proposte sono state dimensionate quelle per lo stoccaggio delle piogge intense; in assenza di dati certi sulla permeabilità dei suoli, ci si è posti nella condizione più realistica di impossibilità di infiltrazione e, in mancanza di dati sui limiti di scarico imposti dal gestore idrico, si è utilizzato un valore cautelativo di 7 l/s/ha coerente con lo stato critico del sistema fognario.

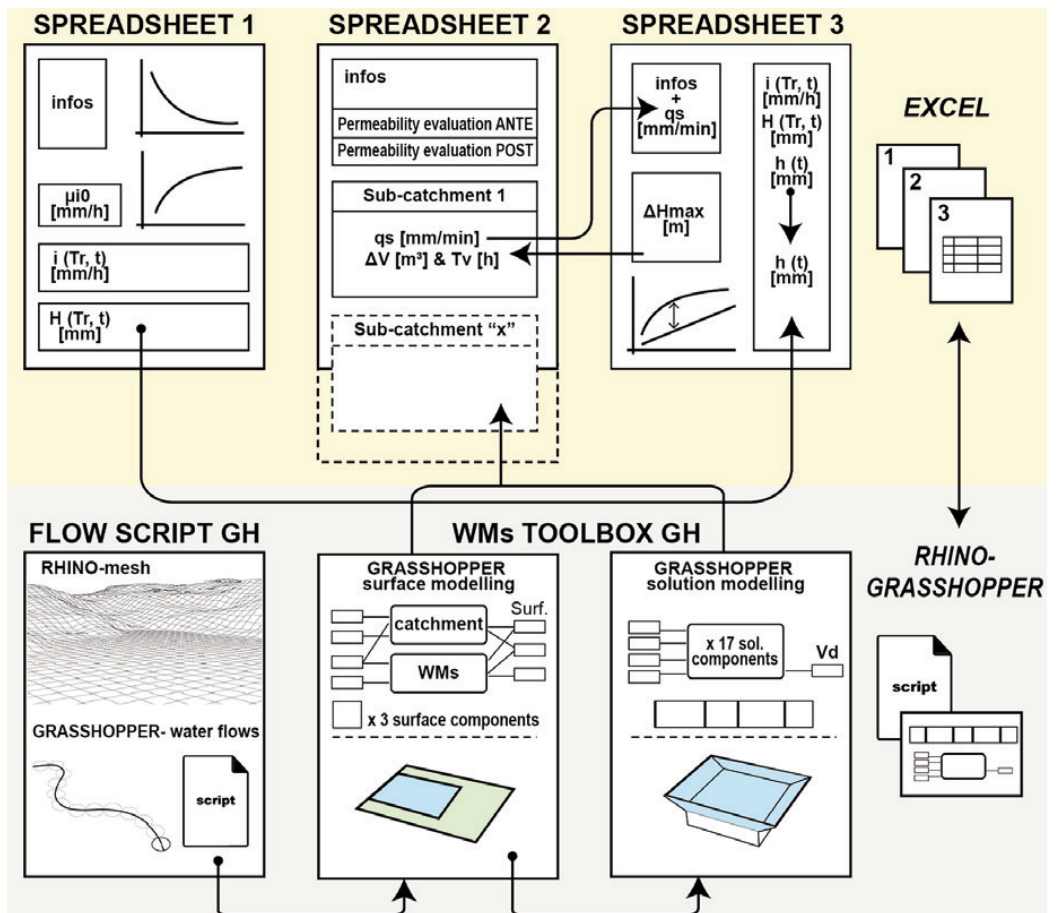
L'area, articolata e complessa, è stata suddivisa in cinque aree di captazione, corrispondenti alle cinque tipologie di soluzioni impiegate (Fig. 15), ciascuna ulteriormente ripartita in sottobacini secondo il criterio della contiguità tra dispositivi. Attraverso un processo iterativo di modellazione e ottimizzazione, superfici e soluzioni sono state dimensionate per ciascuna area, assumendo un tempo di ritorno di venti anni, ad eccezione delle piazze d'acqua, verificate anche per $Tr = 50$ anni, data la loro natura infrastrutturale complessa. Il confronto tra stato di fatto e progetto ha evidenziato miglioramenti significativi (Fig. 16): la superficie impermeabile si è ridotta dall'80% al 14%, il coefficiente di runoff totale è calato del 31% e i volumi minimi di stoccaggio richiesti si sono contratti del 24%, pur in assenza di infiltrazione. Le soluzioni sono state infine confrontate in base alla loro capacità di stoccaggio, dipen-

dente dalla loro natura maggiormente intensiva o estensiva, e dal numero di soluzioni per tipologia adottate. Nella sua configurazione finale, il modello ha integrato tutte le informazioni progettuali derivanti dal dimensionamento di 11 piazze d'acqua, 47 bioswales, 17 aree di bioritenzione vegetata, 6 bacini di detenzione e 4 tetti di ritenzione (Fig. 17).

Conclusioni e sviluppi futuri | Il contributo segna un avanzamento nel campo della progettazione resiliente, fornendo uno strumento innovativo per la modellazione e la valutazione delle soluzioni di gestione delle acque piovane a supporto delle varie fasi della progettazione, a partire da quella del concept progettuale, fino alle scelte di indirizzo progettuale e di impostazione del progetto di fattibilità tecnico economica. L'oggetto e l'applicazione della ricerca sono di estrema urgenza e attualità nei nostri contesti climatici, che vedono il verificarsi sempre più frequente di fenomeni estremi legati all'acqua, minacciando città, economie, comunità e vite umane. Lo strumento si contraddistingue per la sua immediatezza d'uso a fronte di workflow e algoritmi complessi, rendendolo particolarmente efficace nelle fasi meta-progettuali.

Supportato dalla progettazione parametrica, lo strumento WMs semplifica le fasi di pre-dimensionamento e verifica offrendo componenti flessibili in grado di modellare e comparare molteplici soluzioni e scenari alternativi in tempo reale. La simulazione dei flussi idrici inclusa nello strumento si somma alle informazioni preliminari in possesso del progettista, sostenendone il processo ideativo e creativo. L'in-

| Time | Rainfall intensity and height | | Discharge height | Max. storage height | |
|------------|-------------------------------|--------------|------------------|---------------------|--------------|
| | [min] | [h] | | | [mm/h] |
| 10 | 0.17 | 149.67 | 24.94 | 0.53 | 24.41 |
| 15 | 0.25 | 125.64 | 31.41 | 0.79 | 30.61 |
| 20 | 0.33 | 108.93 | 36.31 | 1.06 | 35.24 |
| 25 | 0.41 | 96.57 | 40.23 | 1.32 | 38.91 |
| 30 | 0.5 | 87.01 | 43.50 | 1.59 | 41.91 |
| 35 | . | 79.37 | 46.30 | 1.85 | 44.44 |
| 40 | 0.66 | 73.12 | 48.74 | 2.12 | 46.62 |
| 45 | 0.75 | 67.88 | 50.91 | 2.39 | 48.52 |
| 50 | 0.83 | 63.42 | 52.86 | 2.65 | 50.21 |
| [...] | [...] | [...] | [...] | [...] | [...] |
| 430 | 7.16 | 13.50 | 96.81 | 22.84 | 73.96 |
| 435 | 7.25 | 13.39 | 97.08 | 23.11 | 73.97 |
| 440 | 7.33 | 13.27 | 97.35 | 23.37 | 73.97 |
| 445 | 7.41 | 13.16 | 97.61 | 23.64 | 73.97 |
| 450 | 7.5 | 13.05 | 97.88 | 23.90 | 73.97 |
| 455 | 7.58 | 12.94 | 98.14 | 24.17 | 73.97 |
| 460 | 7.66 | 12.83 | 98.40 | 24.44 | 73.96 |
| 465 | 7.75 | 12.73 | 98.66 | 24.70 | 73.95 |
| 470 | 7.83 | 12.62 | 98.91 | 24.97 | 73.94 |
| 475 | 7.91 | 12.52 | 99.16 | 25.23 | 73.93 |
| 480 | 8 | 12.42 | 99.41 | 25.50 | 73.91 |
| [...] | [...] | [...] | [...] | [...] | [...] |
| 1440 | 24 | 5.36 | 128.64 | 76.50 | 52.13 |



Tab. 7 | Comparison between rainfall heights and drained heights through the technological solution over time (credit: the Authors, 2025).

Fig. 1 | Illustrative diagram of the different parts composing the integrated tool (credit: the Authors, 2025).

tegrazione tra fogli di calcolo e toolbox parametrico consente di valutare l'efficacia delle soluzioni sulla base di metodi verificati.

La sperimentazione in un progetto pilota rafforza la validità scientifica e pratica della ricerca: il passaggio applicativo dal lotto tipo al progetto pilota evidenzia la capacità dello strumento di adattarsi a modelli di scala e complessità crescenti, gestendo un elevato numero di parametri e variabili progettuali. I risultati ottenuti sono trasferibili a diversi contesti climatici e territoriali, prevedendo la possibilità futura di estendere i fogli Excel inglobando modalità di calcolo alternative di pluviometrie e volumi in funzione delle esigenze locali.

La componente Excel potrebbe inoltre supportare scenari di dimensionamento più complessi, come condizioni miste di parziale infiltrazione nel sottosuolo unita a portate di scarico costanti. Ciò risulterebbe utile in tutti quei contesti caratterizzati da un suolo con prestazioni scarse, ma che non ne compromettono la parziale possibilità di infiltrazione. Occorre tuttavia sempre considerare due aspetti fondamentali: come l'applicabilità dei metodi proposti dipenda dalla conformità alle eventuali prescrizioni regionali e locali e agli strumenti di pianificazione vigenti, e come, nella fase di definizione esecutiva del

progetto, i risultati debbano essere verificati tramite modellazioni idrologiche e idrauliche più complesse.

Lo sviluppo del progetto pilota ha dimostrato inoltre come, per un'efficace applicazione dello strumento, sia necessario avere accesso a una serie di informazioni locali non sempre disponibili. Pertanto il WMs potrebbe interagire in futuro con altre piattaforme, divenendo parte di uno strumento più ampio (Fig. 18) capace di raccogliere open data regionali e locali e mappe tematiche a base GIS, agevolando il reperimento di informazioni tecniche e normative e accompagnando i progettisti in un processo decisionale più informato.

Infine, poiché progettare per aumentare il grado di adattamento e resilienza climatici implica conoscenze e valutazioni multiple e interconnesse, l'interazione dinamica con altre strumentazioni parametriche e generative esistenti per le valutazioni microclimatiche e ambientali potrebbe fornire un quadro di insieme a più variabili in grado di orientare il progetto verso le scelte più efficaci e sostenibili. In prospettiva lo strumento offre un'opportunità concreta per integrare in modo più strutturato la gestione idrica all'interno del processo progettuale, colmando il divario tra conoscenze tecniche specialistiche e pratica architettonica. La capacità di

riorganizzare dati eterogenei – tecnici, climatici e normativi – in un flusso operativo coerente consente di ridurre i tempi di analisi e aumentare la qualità e la consapevolezza delle scelte. Sul piano strategico lo strumento può contribuire alla diffusione di pratiche resilienti, favorendo un maggiore allineamento tra strumenti di pianificazione e azione progettuale. Lontano dall'essere uno strumento concluso, il WMs rappresenta una base operativa aperta a futuri sviluppi interdisciplinari, in coerenza con le sfide climatiche e ambientali del nostro tempo.

Global warming is significantly altering the natural hydrological cycle (Masson-Delmotte et alii, 2021), making extreme water-related events more frequent and severe. Since 2000, floods have increased by 134% and droughts by 29% (WMO, 2021): climate change is producing an intensification and acceleration of the hydrological cycle (Vahid et alii, 2009), with short, high-intensity rainfall events that, however, do not necessarily entail an overall increase in precipitation. In the most vulnerable regions, such as the Mediterranean hotspot, extreme rainfall and

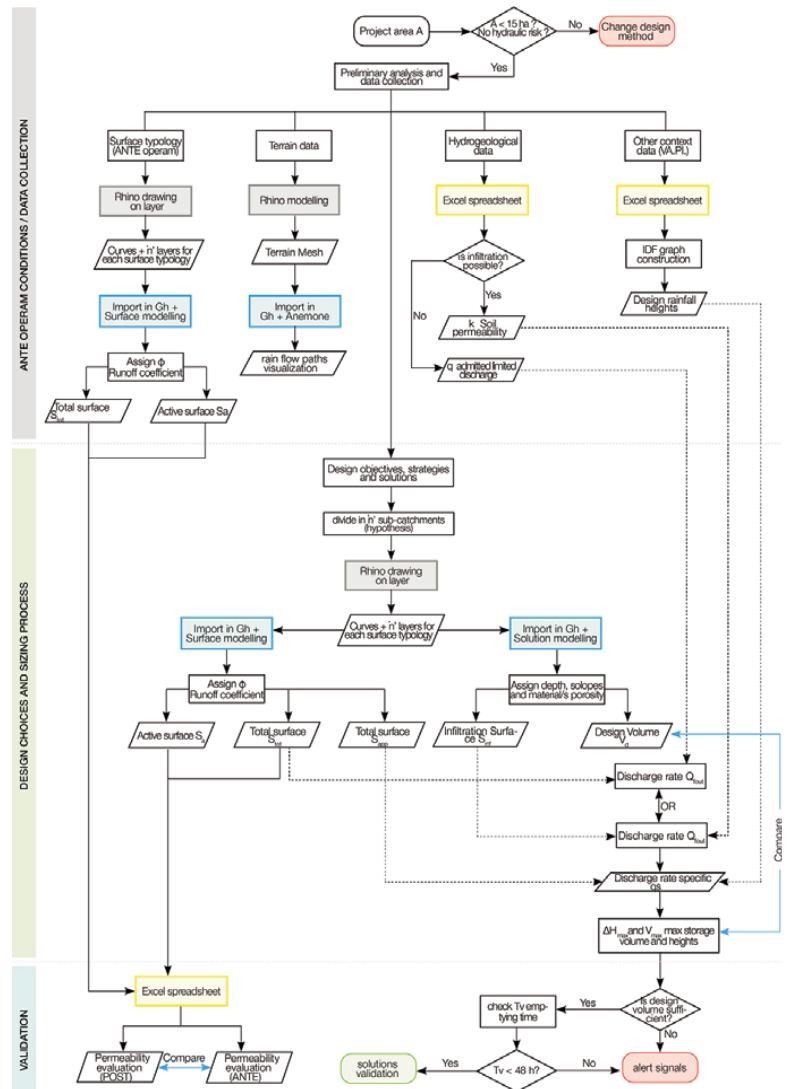
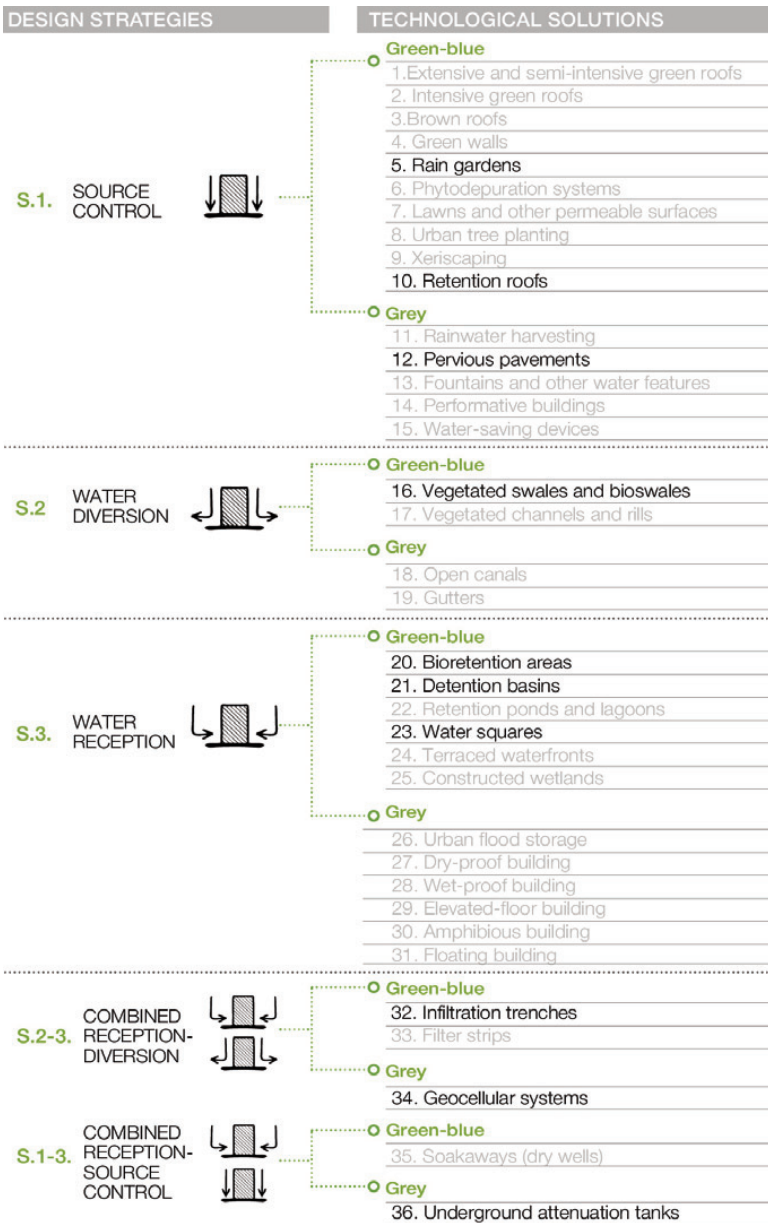


Fig. 2 | The ten technological solutions selected from the thirty-six mapped green-blue and grey solutions (credit: the Authors, 2025).

Fig. 3 | Flow diagram supporting the development of the integrated Rhino-GH and Excel tool (credit: the Authors, 2025).

flash flooding events combine with prolonged drought periods, exacerbating risk conditions for cities (EEA, 2024).

The progressive artificialisation of urban soils has reduced their permeability and infiltration capacity, and accelerated runoff times, resulting in faster flows toward receptors and earlier, more intense flood peaks. Traditional drainage infrastructures, often obsolete or undersized, are therefore ineffective. Quantitative issues related to flooding and erosion are compounded by qualitative ones due to runoff water pollution, with significant ecosystem repercussions (Negretto et alii, 2021).

Managing stormwater from extreme events thus plays a strategic role in the international debate. Architectural and urban design play a key role in introducing green-blue and grey solutions (UN-Habitat, 2024) that strengthen the resilience of urban spaces and help restore the ecological balance of cities. These solutions align with the Sustainable Development Goals (SDGs) of the 2030 Agenda (UN, 2015), acting directly on the sustainable and integrated management of water resources (SDG 6) and, transversally, on the urban system by promoting resilient and inclusive cities (SDG 11), circular models of resource management (SDG 12), and climate action (SDG 13).

Integrated design approaches combine ecological recovery and reuse solutions with sustainable urban drainage systems; however, for these to be effective, a complete understanding of the multiple environmental dynamics involved is required from the early stages of project development. Recent studies have developed simulation and urban modelling tools in this sense, demonstrating the importance of multi-resource approaches to support resilient design. The use of integrated platforms allows the correlation of water management with energy performance and microclimatic conditions (Tucci et alii, 2022; Valente et alii, 2024), highlighting synergies that enable ecological and sustainable management of natural resources and fostering the development of more effective and interconnected governance models. In this context, the research proposes complementing existing strategic tools with new operational tools that integrate water simulation and technological modelling, grounded in technical data and local regulations. Indeed, while the use of multiple

microclimatic simulation software tools is consolidated in design practice (Ibrahim, Kershaw and Shepherd, 2020), water simulation is often associated with specialised expertise, and its integration into architecture remains an open field of investigation (Leskens, Brugnach and Hoekstra, 2014). Parametric design environments enable the development of algorithms to represent meteorological phenomena and assess risk scenarios (Morschek, König and Schneider, 2019); however, these tools do not directly support the selection and technical verification of design solutions for managing extreme climatic events.

This research stems from these considerations to develop an integrated tool for the preliminary design of resilient urban stormwater management solutions. This objective guides the formulation of the Water Management systems (WMs), a tool based on the interaction between parametric workflows and spreadsheets. Experimental and multidisciplinary in nature, the WMs combines design expertise and technical assessments with the principles of regenerative urban hydrology while ensuring consistent application of local regulations.

In particular, the tool supports the application of 'hydraulic and hydrological invariance' checks¹ required in certain Italian regions for the design of sustainable drainage solutions. However, the non-systematic adoption of these checks across the national territory and the methodological fragmentation² among regions make these principles difficult to apply in architectural design. The WMs offer an original reworking of consolidated calculation methods, reorganising specialised knowledge into an easily accessible database and spreadsheets usable by designers. Moreover, the innovative integration of parametric modelling tools enables informed modelling of each solution and real-time visualisation within specific urban contexts, facilitating sizing and verification. This paper first outlines the reference context, situating the tool within the landscape of existing simulation and modelling instruments and motivating the research objectives. It then presents the methodological process and the working phases that led to the formulation of the tool, followed by a description of its components and functions. The tool is tested on a pilot project, illustrating the ap-

plication stages and results obtained. Finally, the conclusions outline the potential and limitations of the WMs, opening up prospects for future research.

Simulation and modelling for water management | Simulation and modelling activities play a key role in managing environmental dynamics; when carried out ex ante and ex post, they help guide design choices toward the most effective alternatives within a performance-based approach (Diema, 1995). Microclimatic simulation software has been employed to support and validate adaptation and environmental mitigation projects: innovative design experiences have used high-resolution tools such as ENVI-met (Tucci et alii, 2022; Valente et alii, 2024), or parametric simulations performed through Ladybug Tools (Zarcone, Nava and Tucci, 2024), demonstrating the interrelations among multiple urban networks, including energy, bioclimatic, and natural resource systems. At the same time, experimental approaches have been developed that combine environmental simulation with generative algorithms based on artificial intelligence, capable of triggering adaptive design strategies (Nava and Melis, 2024).

However, integrated management of water resources, central to achieving climate and environmental goals, requires specialised simulation and modelling tools that support both technical and design evaluations from the earliest stages. Hydrological simulation programs allow the diagnosis of extreme meteorological events and the reproduction of physical runoff and drainage phenomena in networks; however, they require specialised expertise for correct modelling and post-processing of results, while the standardisation of technical solutions produced appears insufficient when compared to the range of alternative, sustainable solutions potentially applicable in design (Leskens, Brugnach and Hoekstra, 2014).

Within this framework, parametric modelling environments have progressively emerged as digital laboratories integrating design and environmental simulation (Marin, 2018). Among the most widely used platforms, Rhinoceros-Grasshopper (Rhino-GH) stands out for its high expandability and execution speed, enabling multiple analyses within the same environment, features that make it particular-

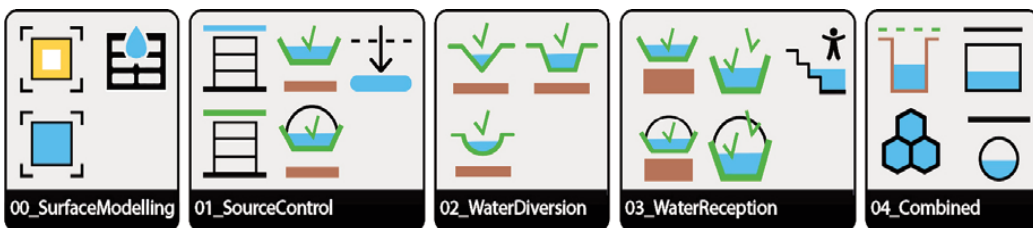


Fig. 4 | The WMs toolbox interface in GH with the component bar (credit: the Authors, 2025).

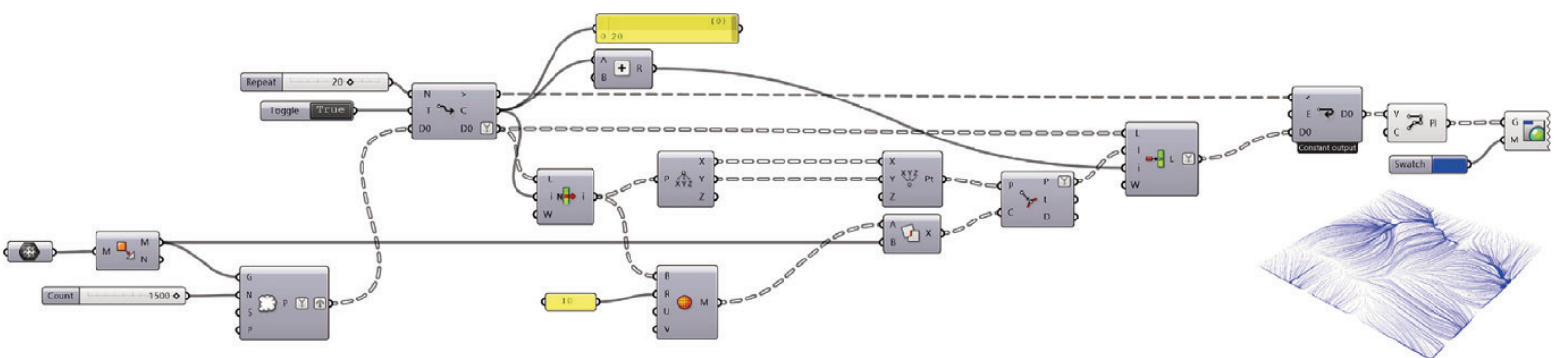


Fig. 5 | The water flow visualisation script (credit: the Authors, 2025).

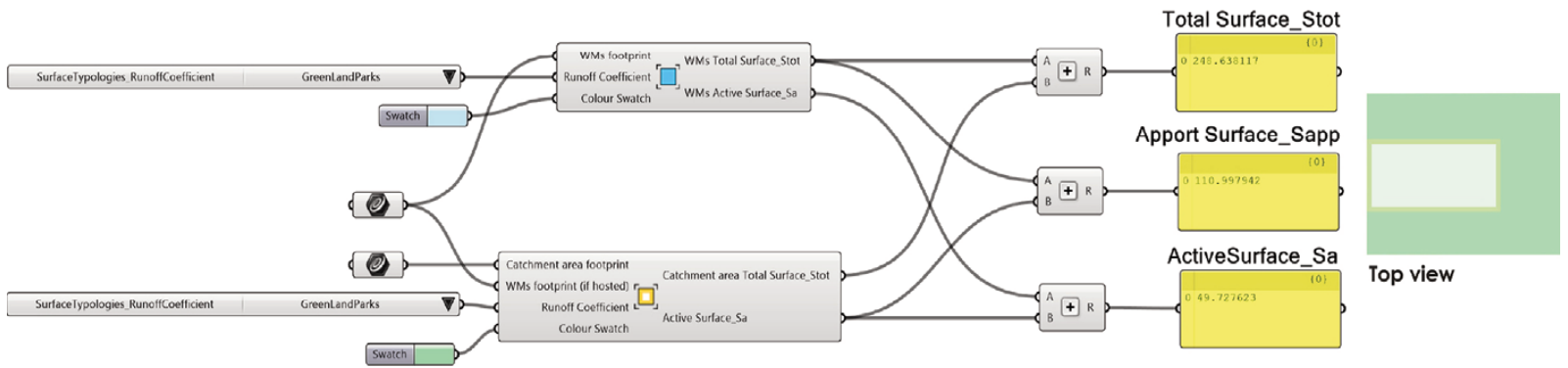


Fig. 6 | Example of the application of Surface Modelling components for calculating project surfaces (credit: the Authors, 2025).

ly effective for dynamic simulation of hydrological behaviour and its correlation with integrated design strategies. An important phase of this research, therefore, involved mapping the available resources within Rhino-GH to establish an updated, critical state-of-the-art that would serve as the knowledge base for defining a new design tool.

The set of tools developed within Rhino-GH for integrating water resources into design processes can be grouped into two main macro-categories: simulation plug-ins, aimed at representing meteorological events; and simulation and assessment toolkits. Simulation plug-ins can be further classified as simplified, logic-based, or physics-based, and visualise water flows over topographies using predefined Rhino interfaces, customised scripts built on iterative cycles, or physical simulations of particle collisions. In parallel, simulation and assessment toolkits associate the representation of runoff with a design or performance dimension: the Performance Workflows included in Land Kit allow the hydraulic modeling of flows and storage volumes based on North American climate parameters; the Spatial Resilience Toolbox – Flooding (SRTF) enables the simulation of runoff, river flood, and tidal scenarios, and evaluates risks of flooding, runoff, and erosion at the urban scale (Morschek, König and Schneider, 2019).

A comparative analysis of hydrological simulation and modelling tools (Tab. 1) highlights several critical issues, including limited adaptability to national climatic and regulatory contexts, obsolescence or reliance on licenses, and reliance on non-customisable user scripts. Using physics-based tools increases simulation time and complexity, without necessarily providing additional information for preliminary design compared to iterative logic-based simulations. Furthermore, while risk assessment toolkits are essential during strategic planning, they do not directly support the operational design of resilient solutions for managing urban stormwater.

From these identified limitations arises the need for an operational tool that integrates simulation, modelling, and technical verification into a coherent workflow. The goal of this research is to develop a procedure that assists designers in the preliminary phases of selecting, sizing, and verifying design solutions for resilient urban stormwater management by integrating climatic data, local regulations, and technical information into a flexible, user-friendly instrument. The WMs tool is designed to overcome the limitations of specialised knowledge by adopting methodologies accessible to designers and providing access to a structured database of information for practical application.

The WMs combines water flow visualisation capabilities, well established in literature, with specific modules aimed at designing sustainable stormwater management solutions, integrating parametric modeling of surfaces and design elements with spreadsheets for validating data extracted from the model (Fig. 1). The tool supports more informed design decisions, offering a focus on water management within an integrated resource management framework that is essential for creating resilient urban ecosystems.

Methodological context and work phases | The research methodology, based on a critical analysis of the state of the art, is structured into a preliminary phase followed by an operational phase for the construction of the WMs. The preliminary phase consists of selecting the solutions to model in the parametric toolbox and choosing the methods to implement in the spreadsheets.

The selection of resilient stormwater management systems is part of a broader methodological process based on the analysis of technical manuals and international guidelines (Woods Ballard et alii, 2015), as well as the critical analysis of seventeen European case studies chosen for their replicability in Mediterranean and consolidated urban contexts. The comparative analysis of the case studies made it possible to identify three recurring architectural macro-strategies for water management (water diversion, water reception, and source control), which served as a basis for classifying the thirty-six solutions mapped in the literature. The solutions were further filtered based on criteria of consistency with urban runoff control objectives, relevance to mitigating extreme events, and feasibility of accurate modelling within the Rhino-GH environment, leading to the final selection of ten devices to be modelled in the toolbox (Fig. 2).

The selection of spreadsheet structure methods is based on two key criteria: applicability during the preliminary design phases and regulatory compliance. Simplified methods are generally recommended for preliminary design, while more complex modelling is used in executive phases (ASTEE, 2017). Among the sizing methods proposed by regulations and guidelines on hydraulic and hydrological invariance, the ‘simplified rainfalls design method’³ was selected. This method allows for the analytical estimation of the required water storage volumes by comparing the rainfall depths over the area with the drained depths of the technological solutions. A prerequisite for its application is knowledge of the Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves, which are required to define the design rainfall heights. For their

estimation, the research examines the VAPI method, based on a process of regionalisation of intense rainfall events in Italy⁴ (Ferrari and Versace, 1994), which makes it possible to overcome problems associated with the absence or incompleteness of historical pluviometric data, thereby making its use particularly effective in the preliminary design phase.

The operational construction of the tool is based on preliminary analyses and is structured into three main work stages. The first phase consists of creating a structured database of regulatory and technical information. The database contains the data necessary for the application of the ‘rainfalls design method’ and the VAPI method, as well as the criteria to be adopted in the design of water management systems, derived from manuals and guidelines and reorganised into technical sheets. The set of information organised in the database forms the knowledge base for properly structuring the spreadsheets and creating parametric workflows suitable for modelling the ten selected technological solutions.

The second work phase focuses on creating three spreadsheets (Tab. 2-7) aimed at constructing the IDF curves using the VAPI method and determining the design volumes and maximum storage depths using the ‘rainfalls design method’. The spreadsheets extract information from the database and reorganise it to optimise data input and extraction. Since the parametric modelling required a longer time frame, the spreadsheets were initially tested in a ‘static’ mode to verify their correct operation. Each spreadsheet was designed to be potentially independent, with the possibility of extending the adopted calculation methodologies according to local climatic and regulatory requirements.

Finally, the third phase consists of developing the parametric toolbox in the Rhino-GH environment. An iterative script built with the logic-based plug-in Anemone simulates water paths across the area (Claghorn, 2016), while modelling surfaces and design solutions aim to create customised components that can expand GH libraries through the active and informed design of water management systems. The solutions are modelled by abstracting their constituent components and diversifying possible configurations.

To ensure maximum model flexibility, all components are modelled from input curves drawn in Rhino and imported into GH, and are designed to function regardless of the input curves’ orientation. For complex scripts, each component is enclosed within practical-use clusters that contain all the information necessary to guide the designer in entering input parameters and verifying output data, in consis-

Fig. 7 | General overview of the water management solution modelling components, divided into four categories and supported by drawings (credit: the Authors, 2025).

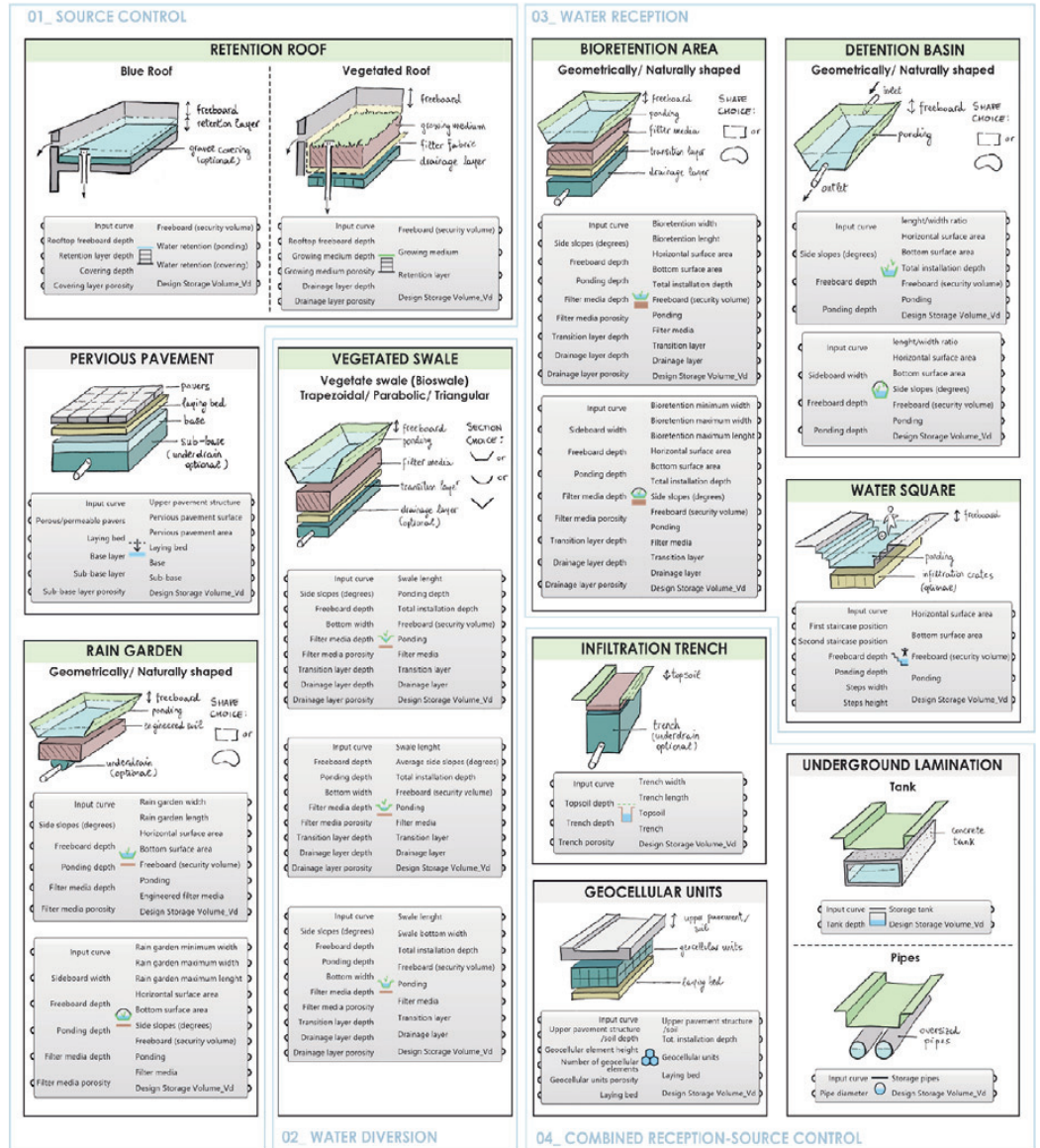


Fig. 8 | Example of Solution Modelling components applied to a vegetated bioretention area and calculation of the design water storage volume (credit: the Authors, 2025).

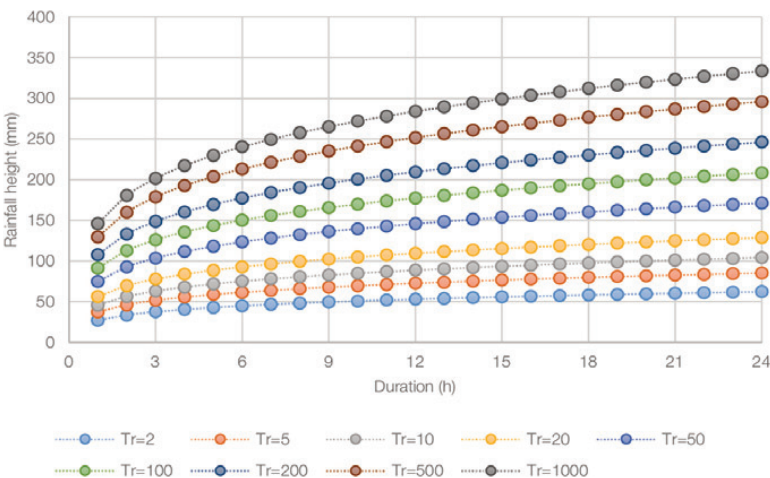
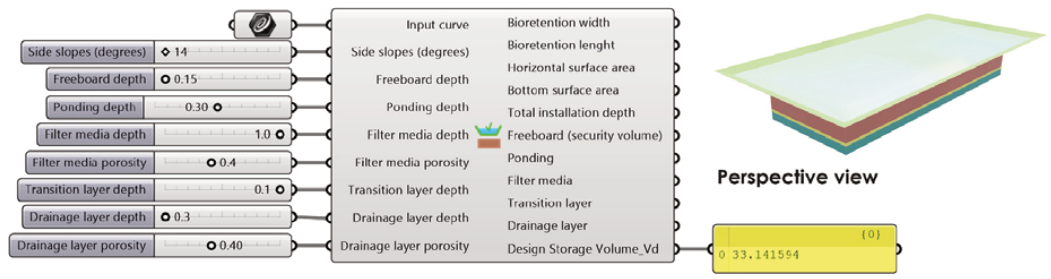


Fig. 9 | Graph of rainfall heights obtained using the first WMs spreadsheet for the Fosso di Pratlungo Meteorological Station in Rome (credit: the Authors, 2025).

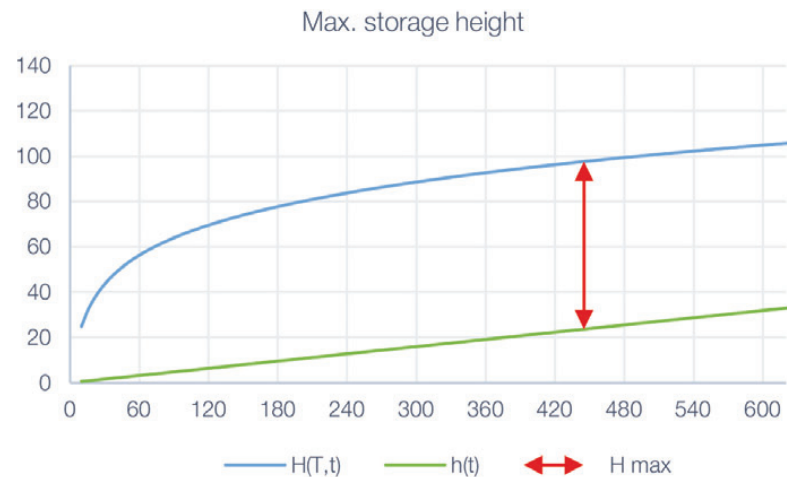


Fig. 10 | Example of the analytical definition of maximum water storage heights in the third WMs spreadsheet (credit: the Authors, 2025).

ANTE OPERAM

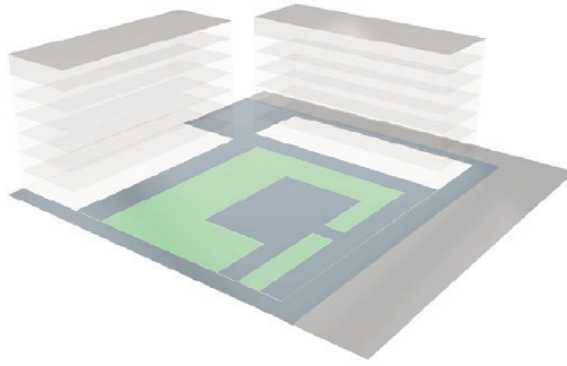
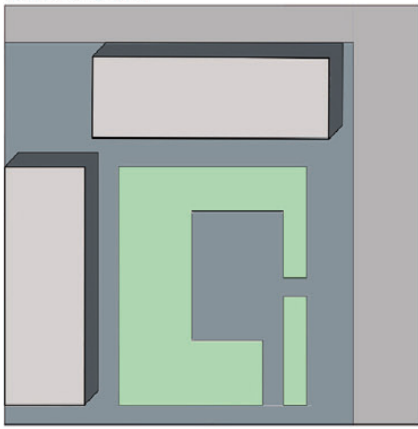
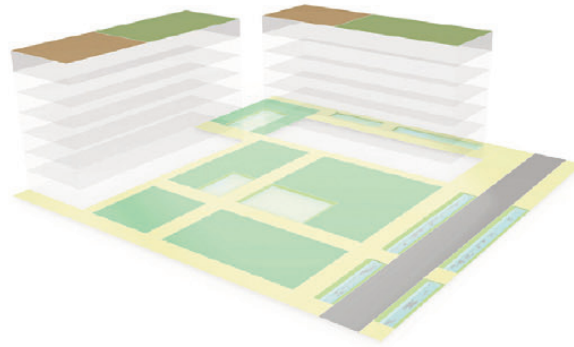
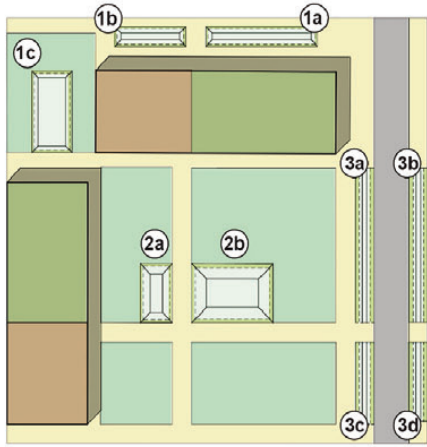


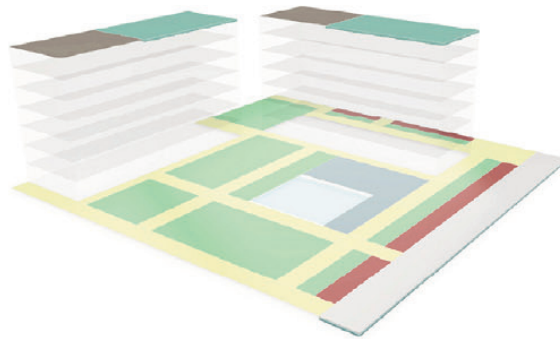
Fig. 11 | Comparison between ex ante and ex post scenarios of the standard lot (credit: the Authors, 2025).

Fig. 12 | Comparative evaluation between ex ante and ex post scenarios of the standard lot (credit: the Authors, 2025).

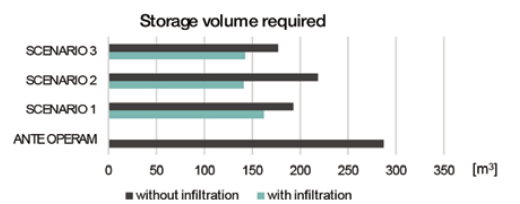
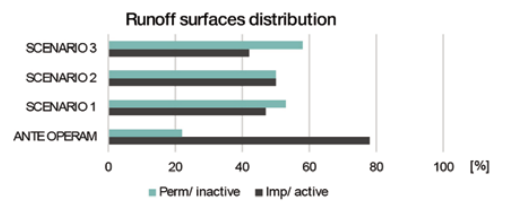
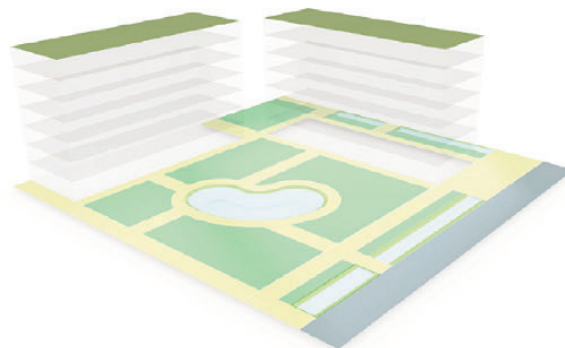
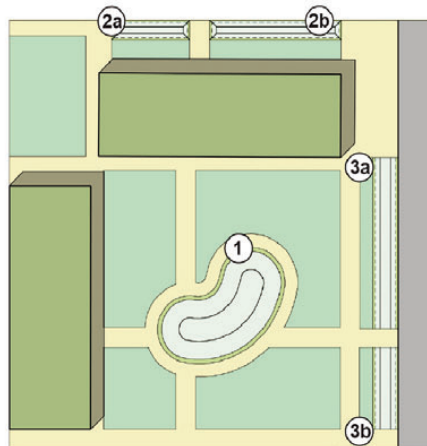
SCENARIO 1: Green-blue



SCENARIO 2: Green-blue and gray



SCENARIO 3: Green-blue naturalistic



tency with the information collected in the database.

The WMs Tool: Components and Functions | The WMs tool consists of the parametric toolbox, which interacts with the three spreadsheets. The overall functioning is developed based on a general flow-chart (Fig. 3), which allows visualisation of the interactions among design variables, logical processes, and choices at different stages of the project.

The parametric toolbox is divided into three modules: a water flow visualisation script, a Surface Modelling section, and a Solution Modelling section. The interface of the toolbox is minimal: the ten solutions with their respective variants, and the three surface tools (for a total of 20 components), are organised into five categories (Fig. 4). To visualise water flows, a script (Fig. 5) is provided that, once the topography is imported, allows progressively increasing iteration cycles to display runoff in real time as polylines. The adoption of a logic-based, rather than a physics-based, water simulation method provides an immediate tool that effectively supports the analysis of the existing condition and guides preliminary decisions, such as the optimal location of solutions or topographic modifications to the area.

The surface modelling module includes three components: the first, Catchment Surfaces, is used for modelling stormwater runoff surfaces; the second, Reception Surfaces-WMs, is intended for modelling the surfaces occupied by water management solutions designed to contain runoff; the third, Surface Typologies-Runoff Coefficient, consists of a value list of runoff coefficients based on the literature⁵. The simultaneous application of these components in the ex ante and ex post surface modelling allows the calculation of the active surface area (Sa) and contributing surface area (Sapp) from the total surface area (Stot), producing results that can be processed in Excel spreadsheets for project sizing and verification (Fig. 6).

The solution modelling module contains seventeen components corresponding to the ten blue-green and grey technological solutions, along with their respective variants. The components are divided, according to the water management macro-strategies they refer to, into four categories: Source Control, Water Diversion, Water Reception, and Combined (Fig. 7). Each solution can be modeled

based on input data corresponding to dimensional parameters derived from technical manuals; by varying the input parameters within prescribed ranges, it is possible to visualise changes in stratigraphy and results. The outputs allow verification of compliance with the prescribed dimensional limits and the extraction of data, such as the possible infiltration surface (Sinf) and the design water storage volume (Vd), which are then entered into the spreadsheets (Fig. 8).

The three spreadsheets, each with a specific but interconnected function, process the data derived from the modelling to apply them in the verification of hydraulic and hydrological invariance. The first sheet, IDF Curve Construction – VAPI (Tabb. 2, 3), based on the regionalisation parameters established by the VAPI method, allows the construction of IDF curves and the determination of rainfall heights according to varying return periods (Tr), identifying the heights corresponding to the design rainfall event to be applied in the rainfall method (Fig. 9).

The second sheet, Project Area – Design Volumes (Tabb. 4, 5), includes one table for the overall area and a variable number of sub-tables corresponding to the number of sub-catchment areas managed by each type of solution. The first table, in addition to basic information on the project area, includes a section comparing permeability before and after the intervention, based on Sa values extracted from the model. Each sub-table, starting from the information contained in the first and the data coming from the parametric model (Stot, Sa, Sapp, Sinf, Vd), calculates for each solution type the drainage flow rates (qs) and the required water storage volumes (Vmax), considering two alternative scenarios: the possibility or impossibility of infiltrating rainwater into the ground. The comparison between the required Vmax and the design Vd obtained from modelling allows verification of the satisfaction of residual volumes (ΔV), and by comparing Vd and qs, the compliance with emptying times is evaluated (ASTEE, 2017).

The third sheet, Maximum Storage Height (ΔH_{max}), acts as a bridge between the previous two (Tabb. 6, 7): the maximum required storage heights (ΔH_{max}) are analytically calculated as the difference between the rainfall heights derived from the first sheet and the drainage flow rates extracted from the second (Fig. 10). The ΔH_{max} value, rein-

troduced into the second sheet, completes the sizing process by allowing the determination of the required Vmax.

The tool, as a whole, starting with contextual data and applying established methodologies, supports design by guiding the pre-sizing and verification processes for single and multiple technological solutions. The modelling of sustainable water management solutions represents an innovation in the field of parametric design tools, combining technical-dimension knowledge with real-time modification capability. The creation of spreadsheets that reprocess technical, climatic, and regulatory data into structured tables is a second key element: it enables an active and informed role for the designer, making procedural steps explicit and facilitating methodological understanding. The idea of combining Excel spreadsheets with parametric modelling, in addition to optimising calculation processes, provides the designer with an interactive operational environment for visualising and evaluating the project, as demonstrated in the case study application.

Application of the WMs: from the standard lot to the pilot project | The tool was tested for applicability in architectural design following an incremental two-phase process: an initial application on a standard lot of approximately 0.40 hectares, and a second application on a pilot project covering about 11 hectares, located in the Public Residential Housing (ERP) district of San Basilio, Rome. The latter was selected due to its climatic, physical, and social conditions, including a high degree of impermeabilisation, poor-quality open spaces, and an inadequate sewer network and unauthorised discharges into the environment.

The standard lot, assumed to be in the same climatic context as the pilot project, was introduced to verify the tool's functionality in a lower-complexity area. Since the data processed by the Excel sheets are already based on established methodologies, to test the validity of the parametric tool, the calculation of surfaces and design volumes was initially performed manually in AutoCAD and then repeated using the WMs toolbox. The comparison of the obtained data revealed not only the greater accuracy enabled by the dynamic interaction between the spreadsheets and the parametric tool, but also the

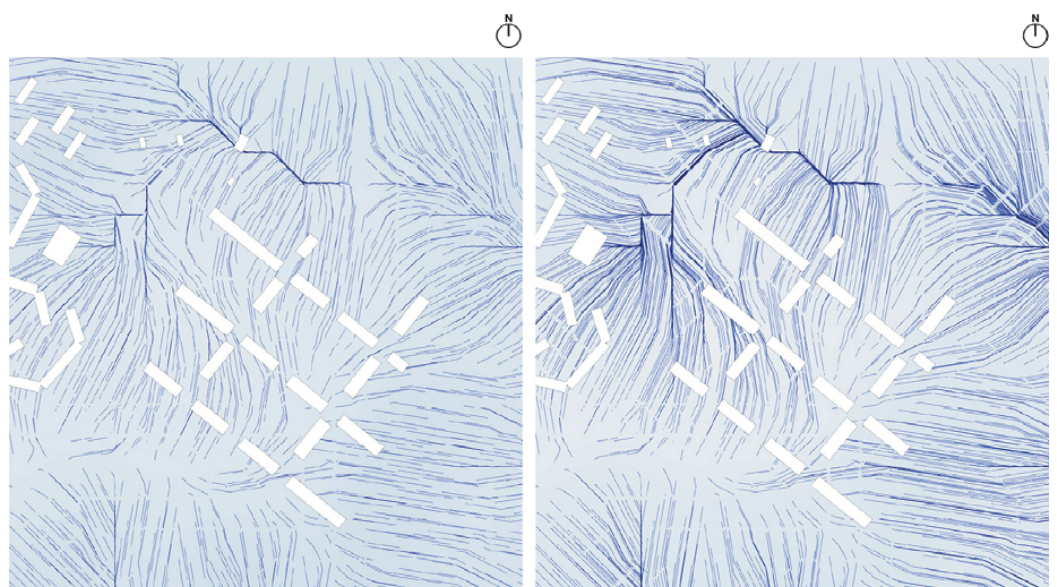


Fig. 13 | Predominant water flow direction on site under ex ante conditions after simulating 10 and 30 iterations in Anemone (credit: the Authors, 2025).

potential to streamline the sizing phases by optimising design parameters.

Following the modelling of the existing condition, three alternative design scenarios were developed (green-blue, green-blue and grey, green-blue naturalistic), each characterised by technological solutions differing in form and nature (Fig. 11). For each scenario, sizing was carried out for twenty-year return periods (Tr)⁶, assuming both favourable and unfavourable soil infiltration conditions, thereby producing a total of six scenarios. In each scenario, specific catchment areas were identified for each solu-

tion type and optimised using parametric modelling. By keeping the footprint of each solution constant and varying the input parameters according to different contextual conditions, the scenarios were compared by evaluating their performance and highlighting the influence of context on sizing and device selection (Fig. 12).

The results show that favourable soil conditions can reduce the minimum required storage volumes by 12-27% compared to impermeable scenarios, with identical design solutions. Furthermore, although intensive grey solutions may prove effective in high-

ly permeable soils (scenario 2), the widespread use of blue-green solutions remains more effective in cases of unfavourable soil infiltration. This is demonstrated by the results of scenarios 1 and 3, which show reductions of 33% and 39%, respectively, compared to pre-intervention conditions. Considering that the permeability of urban soils is often compromised by human development, the importance of prioritising vegetated solutions wherever possible becomes evident. These findings guided the application of the tool to the San Basilio pilot project, to develop innovative architectural proposals based

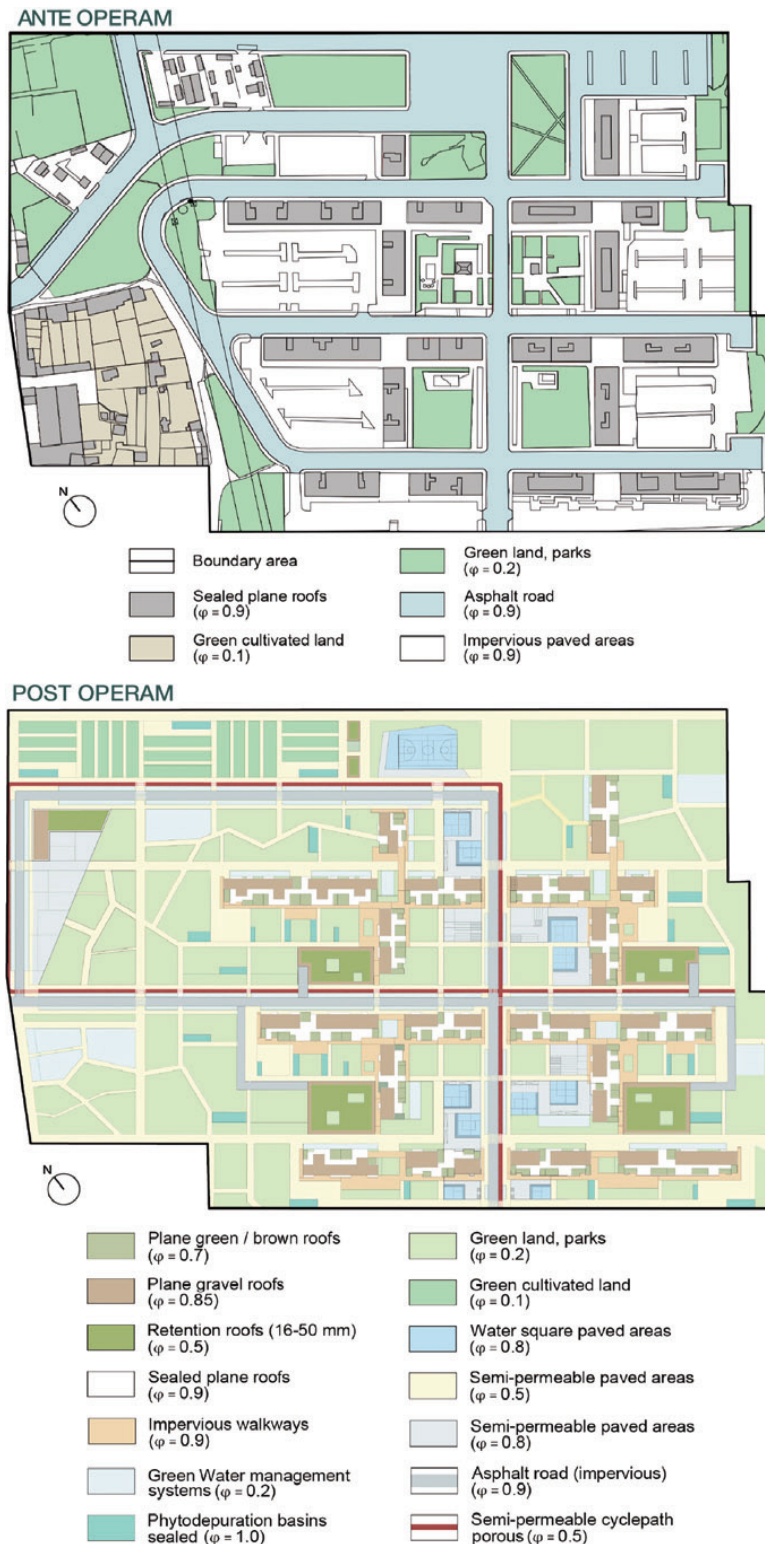


Fig. 14 | Comparison between ex ante and ex post scenarios of the pilot project (credit: the Authors, 2025).

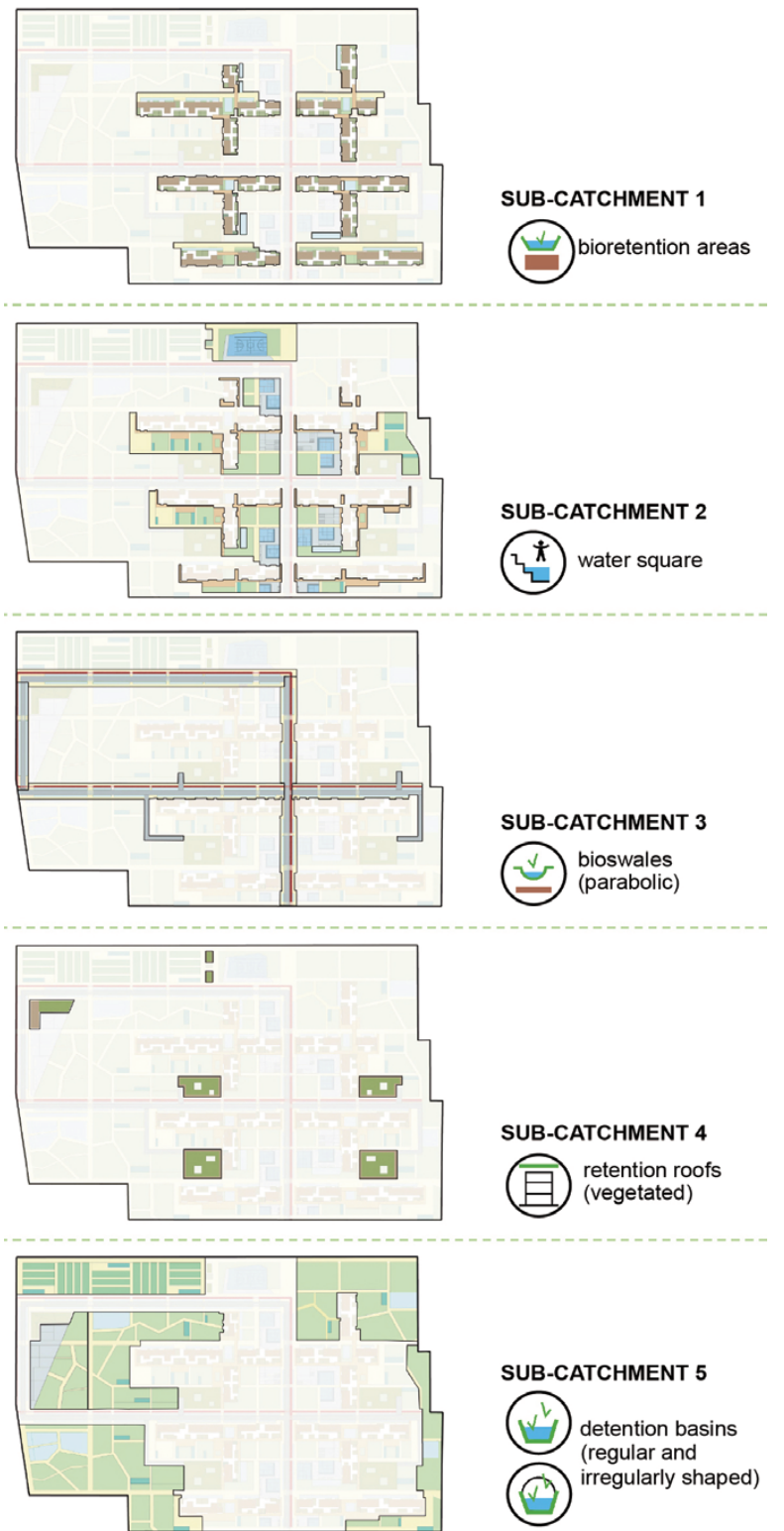


Fig. 15 | The five sub-basins identified for the application of the tool to the pilot project and the corresponding stormwater management systems (credit: the Authors, 2025).

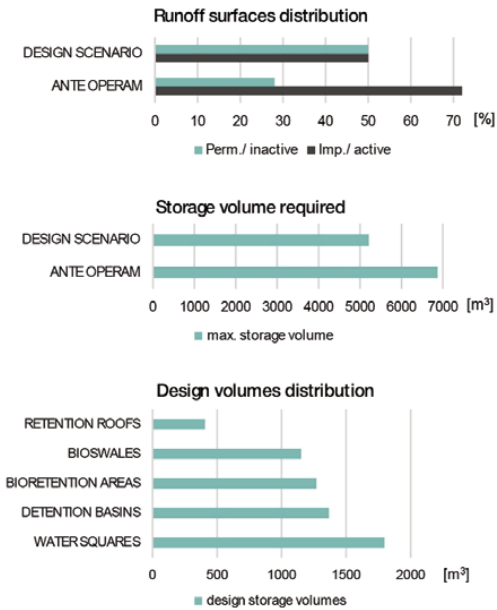
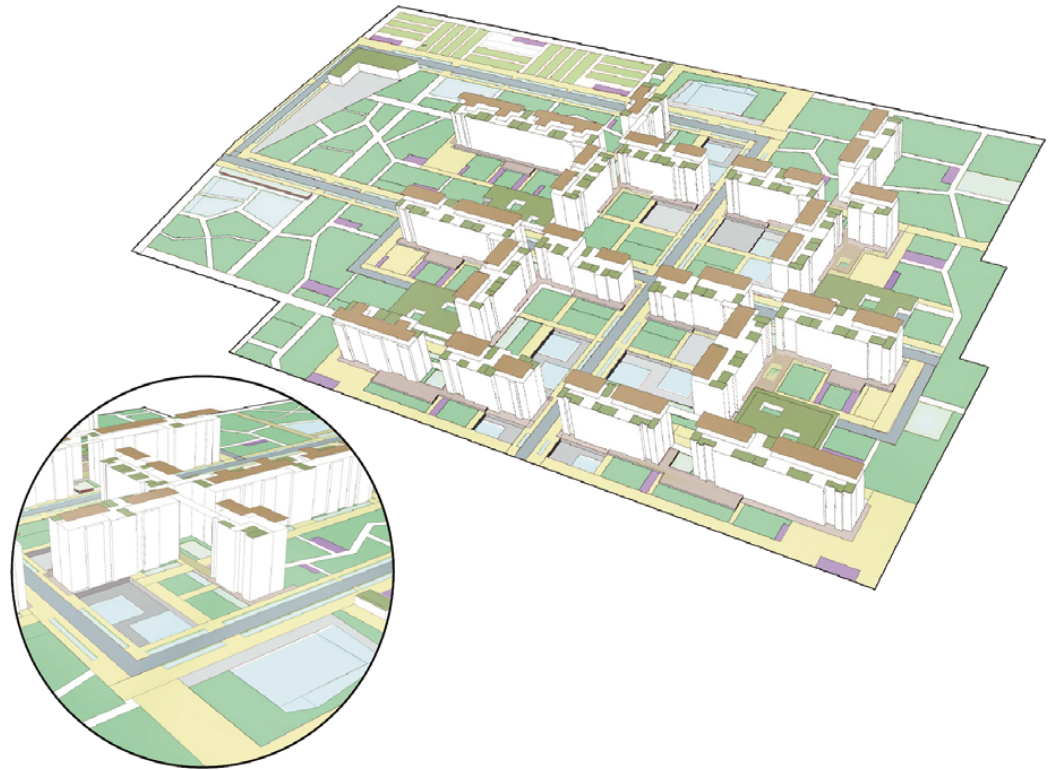


Fig. 16 | Comparative evaluation between ex ante and ex post scenarios of the pilot project (credit: the Authors, 2025).

Fig. 17 | Overall perspective view of the project modelled with the WMs tool and detail of the northwest courtyard (credit: the Authors, 2025).



exclusively on green-blue technologies. In San Basilio, the tool was tested in its entirety. The application of the parametric toolbox to ex ante conditions allows simulation of preferential runoff directions on site (Fig. 13) and analysis of surfaces characterised by high runoff coefficients.

The project, inspired by international case studies with similar objectives, strategies, and scale, aims to revitalise courtyards and green areas as central elements that can capture the majority of rainfall. Among the seventeen European projects, those with water reception as their main macro-strategy were selected, integrating complementary water-diversion and source-control strategies. Two eco-districts – Des Docks in Saint-Ouen and Île Seguin in Boulogne-Billancourt – and the Watersquare Bentheplein in Rotterdam were analysed in detail as examples of adaptive, multifunctional urban spaces that combine large water storage capacities with recreational and social functions.

The proposed project integrates, alongside soil de-impermeabilisation, systems for storing intense rainfall, collecting rainwater, phytodepuration of greywater, and the technological retrofitting of buildings and open spaces (Fig. 14). Among the proposed solutions, those for storing intense rainfall were dimensioned. In the absence of reliable soil permeability data, a non-infiltrating soil condition was assumed, and, lacking information on discharge limits imposed by the water utility, a conservative value of 7 l/s/ha was adopted, consistent with the sewer system's critical condition.

The area, complex and articulated, was subdivided into five catchment zones corresponding to the five solution types employed (Fig. 15), each further divided into sub-basins based on device contiguity. Through an iterative modelling and optimisation process, surfaces and solutions were dimensioned for each area, assuming a 20-year return period, except for the water squares, which were also verified for a 50-year return period due to their complex infrastructure.

The comparison between the existing condition and the project revealed significant improvements (Fig. 16): the impermeable surface area decreased from 80% to 14%, the total runoff coefficient decreased by 31%, and the minimum required storage volumes decreased by 24%, even in the absence of infiltration. The solutions were then compared based on their storage capacity, their more intensive or extensive nature, and the number of solutions adopted per type. In its final configuration, the model integrated all the design information derived from the sizing of 11 water squares, 47 bioswales, 17 vegetated bioretention areas, 6 detention basins, and 4 retention roofs (Fig. 17).

Conclusions and future developments | This contribution marks an advancement in the field of resilient design, providing an innovative tool for modelling and assessing stormwater management solutions to support various stages of the design process, from the conceptual phase to the definition of design guidelines and the setup of the technical-economic feasibility project. The focus and application of this research are of great urgency and relevance in our climatic contexts, which are increasingly affected by extreme water-related phenomena that threaten cities, economies, communities, and human lives. The tool is distinguished by its ease of use despite its complex workflows and algorithms, making it particularly effective in meta-design phases.

Supported by parametric design, the WMs tool simplifies the pre-sizing and verification stages by offering flexible components that model and compare multiple solutions and alternative scenarios in real time. The water flow simulation integrated into the tool complements the designer's preliminary information, supporting the conceptual and creative process. The integration between the spreadsheets and the parametric toolbox enables the evaluation of solution effectiveness using verified methods.

The pilot project further reinforces the scientific and practical validity of the research: the transition

from the standard lot to the pilot project demonstrates the tool's capacity to adapt to models of increasing scale and complexity, while managing a large number of design parameters and variables. The results are transferable across different climatic and territorial contexts, and the Excel sheets can be extended to include alternative rainfall and volume calculation methods tailored to local needs.

The Excel component could also support more complex sizing scenarios, such as mixed conditions combining partial soil infiltration with constant discharge rates. This would be useful in contexts characterised by poor soil performance, but where partial infiltration remains possible. However, two fundamental aspects must always be considered: first, that the applicability of the proposed methods depends on their conformity with any regional and local regulations and planning instruments in force; and second, that in the project's executive definition phase, the results must be verified through more complex hydrological and hydraulic modelling.

The development of the pilot project also demonstrated that, for a practical application of the tool, access to a range of local information, often not readily available, is essential. Therefore, the WMs could, in the future, interact with other platforms, becoming part of a broader instrument (Fig. 18) capable of collecting regional and local open data and GIS-based thematic maps, thus facilitating access to technical and regulatory information and supporting designers in a more informed decision-making process. Finally, since designing for climate adaptation and resilience requires multiple, interconnected types of knowledge and assessments, dynamic interaction with existing parametric and generative tools for microclimatic and environmental evaluations could provide a more comprehensive set of variables, guiding the project toward the most effective and sustainable choices.

Looking ahead, the tool offers a concrete opportunity to more systematically integrate water management within the design process, bridging the

gap between specialised technical knowledge and architectural practice. Its ability to reorganise heterogeneous data – technical, climatic, and regulatory – into a coherent operational workflow reduces analysis time while increasing the quality and transparen-

cy of design choices. Strategically, the tool can help disseminate resilient practices, fostering greater alignment between planning instruments and design actions. Far from being a finished instrument, the WMs represents an open operational founda-

tion for future interdisciplinary developments, in line with the climatic and environmental challenges of our time.

WMs

TOOL PRESENTATION AND DESCRIPTION

WMs
an evaluation and operational tool for resilience
in architectural and urban stormwater management

Urban stormwater management through ecological and climate-aware systems is essential to make cities resilient to the impacts of climate change. The WMs tool integrates informative, evaluative and operational components, organising a set of knowledge addressed to designers, at the service of public administrations and the community.

Learn more about WMs tool

Learn more about Water Management systems

Before starting

PROJECT LOCALISATION, GIS & OPEN DATA

- ▶ Regulation available
- ▶ Urban planning
- ▶ Meteorological data & local open data

DESIGN STRATEGIES AND SOLUTIONS

Source control
 Managing water at the source to minimize outflows, decrease consumption, and enhance local environmental quality

Water diversion
 Keeping water as far away as possible from buildings and open spaces, diverting it by means of conveyance systems

Water reception
 Allowing water to flow near or within flood-proof buildings and structures, reducing flooding and overflow risks

Combined
 Some solutions belong to combined reception-diversion and combined reception-source control strategies

- Home**
 - ▶ Tool presentation + how-to-use video
- Rainwater Management**
 - ▶ Design objective, strategies and solutions
 - ▶ WMs technical sheets
 - ▶ Source control:
 - ▶ Rain gardens
 - ▶ Retention roofs
 - ▶ Pervious pavements
 - ▶ Water diversion:
 - ▶ Vegetated swales and bioswales
 - ▶ Water reception:
 - ▶ Bioretention areas
 - ▶ Detention basins
 - ▶ Water squares
 - ▶ Combined:
 - ▶ Infiltration trenches
 - ▶ Geocellular systems
 - ▶ Underground attenuation tanks
 - ▶ Case studies database
- Information required before starting**
 - ▶ Surface typology and runoff coefficient
 - ▶ runoff coefficient common values
 - ▶ Soil typology and soil permeability
 - ▶ Constraints to infiltration
 - ▶ water table level
 - ▶ pollution risk
 - ▶ distance from building foundation
 - ▶ Discharge limits from regulation
 - ▶ admitted limited discharge & minimum discharge
 - ▶ Pluviometric data
 - ▶ data required for the IDF curve construction
 - ▶ VA.PI. method
 - ▶ classical method
 - ▶ (other methods)
- view modes**
 - ▶ OpenStreetMap
 - ▶ Aerial photogrammetry
 - ▶ Thematic maps (ArcGIS)
 - ▶ hydrogeology and geothematic maps
 - ▶ hydrogeological map
 - ▶ surface hydrography
 - ▶ soil permeability map
 - ▶ natural hazards
 - ▶ hydraulic risk
 - ▶ hydro-meteorology
 - ▶ hydro-meteorological network

Fig. 18 | Proposal for the layout and interface of a unified multi-platform tool that interacts with GIS and open data, to facilitate the future dissemination and use of research results (credit: the Authors, 2025).

Acknowledgements

This paper is the result of a joint effort by the Authors, structured as follows. Conceptualisation: P. Marin, F. Tucci, and L. M. Giannini; Introduction and analysis of simulation and water modelling tools: P. Marin, F. Tucci, and L. M. Giannini; Methodology: P. Marin, F. Tucci, and L. M. Giannini; Tool structure and development of parametric algorithms and spreadsheets: P. Marin and L. M. Giannini; Selection of case studies and identification of the pilot project area: F. Tucci and L. M. Giannini; Application of the tool, from the standard lot to the pilot project: L. M. Giannini, under the supervision of P. Marin and F. Tucci; Conclusions and future developments: P. Marin, F. Tucci, and L. M. Giannini. The original manuscript was drafted and subsequently reviewed and edited by all the Authors, who have read and approved the final version of the paper.

The research is part of the broader project conducted by the Department of Planning, Design, and Technology of Architecture (PDITA) at 'Sapienza' University of Rome, titled 'Natural Capital and Protected Areas – Territorial Governance, Digital Transition, and Ecological Efficiency – New Tools for Integrated Management' (2023-2025), within the thematic line 'Environmental Technological Design, Natural Capital and Protected Areas – Towards Ecological, Energy, and Climatic Efficiency', coordinated by Principal Investigator Prof. F. Tucci. Specifically, the research was carried out as part of the PhD Thesis by L. M. Giannini, under the supervision of Prof. F. Tucci and Prof. P. Marin, with co-supervision by G. Romano, within the PhD Programme in 'Planning, Design, and Technology of Architecture' (curriculum in 'Environmental Technological Design'), with the conferment of the Doctor Europaeus title. The thesis was developed in collaboration with the MHA Laboratory (Méthodes et Histoire de l'Architecture), directed by Prof. P. Marin at the École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble – Université Grenoble Alpes (ENSAG-UGA, France), and was supported by research mobility grants awarded by 'Sapienza' University of Rome (Call for funding of international mobility periods for PhD Candidates of the XXXVII and XXXVIII cycles, D.R. 1505/2023; Call for funding of joint and individual research projects for international mobility of PhD Candidates of the XXXVI and XXXVII cycles, D.R. 1806/2022), both awarded to L. M. Giannini, with Prof. F. Tucci as Scientific Supervisor.

Notes

1) For further information, see the following regulations: 'Regolamento Regionale Lombardia 7/2017'; 'Decreto del Presidente della Regione Friuli-Venezia Giulia 83/2018'; 'Deliberazione della Giunta Regionale Veneto 2948/2009'; 'Decreto del Dirigente Generale Sicilia 102/2021'; 'Delibera del Comitato Istituzionale Sardegna 2/2017'; 'Deliberazione della Giunta Regionale Lazio 117/2020'; 'Delibera del Comitato Istituzionale Emilia-Romagna 3/2/2003'; and 'Deliberazione della Giunta Regionale Marche 53/2014'.

2) The verification procedures range from simplified to detailed methods. If the project involves improvements in permeability, the provisions do not apply in many contexts (see 'Decreto del Presidente della Regione Friuli-Venezia Giulia 83/2018'; 'Deliberazione della Giunta Regionale Lazio 117/2020'; and 'Deliberazione della Giunta Regionale Marche 53/2014').

3) The method is provided for by 'Regolamento Regionale Lombardia 7/2017', 'Decreto del Presidente della Regione Friuli-Venezia Giulia 83/2018', and 'Decreto del Dirigente Generale Sicilia 102/2021' in cases of average potential impermeabilisation, while its use is systematic in France during preliminary design phases to ensure compliance with the 'zero discharge' (0 rejet) principle (ASTEE, 2017).

4) Project on Flood Evaluation in Italy (VAPI), developed by Line 1 of the National Group for the Defence Against Hydrogeological Disasters (GNDICI/CNR).

5) A comprehensive summary of runoff coefficient values derived from regulations is provided in Delibera del Comitato Istituzionale Sardegna 2/2017.

6) In accordance with the minimum values established for residential areas by the UNI EN 752:2017 standard.

References

- ASTEE – Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement (2017), *Mémento technique 2017 – Conception et dimensionnement des systèmes de gestion des eaux pluviales et de collecte des eaux usées*. [Online] Available at: astee.org/publications/memento-technique-2017/ [Accessed 28 September 2025].
- Claghorn, J. (2016), "Water runoff script – Example 8.6", in *Generative Landscape*, 31/05/2006. [Online] Available at: generative-landscapes.com/water-runoff-script-example-8-6/ [Accessed 28 September 2025].
- Diema, S. (1995), "Tecnologie del progetto ambientale, per una trasformazione sostenibile", in Sala, M. (ed.), *Teaching in Architecture Energy and Environment World Network – Proceedings of the Florence International Conference for Teachers of Architecture, Firenze, Italy, September 28-30, 1995*, Aliinea Editrice, Firenze, article 4.03.
- EEA – European Environment Agency (2024), *European Climate Risk Assessment – Executive Summary*, EEA Report 01/2024. [Online] Available at: eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-climate-risk-assessment [Accessed 28 September 2025].
- Ferrari, E. and Versace, P. (eds) (1994), *La valutazione delle piene in Italia – Rapporto nazionale di sintesi*. [Online] Available at: idrologia.polito.it/gndci/rapportiPdf/Vapi_Nazionale.pdf [Accessed 28 September 2025].
- Ibrahim, Y. I., Kershaw, T. and Shepherd, P. (2020), "A Methodology for Modelling Microclimate – A Ladybug-tools and ENVI-met Verification Study", in *35th Plea Conference Sustainable Architecture and Urban Design – A Coruña, Spain, 01/09/20-03/09/20*. [Online] Available at: purehost.bath.ac.uk/ws/portalfiles/portal/212194165/A_methodology_For_Modelling_Microclimate_A_Ladybug_tools_and_ENVI_met_Verification_Study.pdf [Accessed 28 September 2025].
- Leskens, J. G., Brugnach, M. and Hoekstra, A. Y. (2014), "Application of an Interactive Water Simulation Model in urban water management – A case study in Amsterdam", in *Water Science and Technology*, vol. 70, issue 11, pp. 1729-1739. [Online] Available at: doi.org/10.2166/wst.2014.240 [Accessed 28 September 2025].
- Marin, P. (2018), "D'une conception informée par des données à la généralisation des systèmes cyber-physiques", in *Les Cahiers de la recherche architecturale urbaine et paysagère*, vol. 3, pp. 66-83. [Online] Available at: doi.org/10.4000/craup.1043 [Accessed 28 September 2025].
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Matthews, J. B. R., Berger, S., Huang, M., Yelekci, O., Yu, R., Zhou, B., Lonnoy, E., Maycock, T. K., Waterfield, T., Leitzell, K. and Caud, N. (eds) (2021), *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis – Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge (UK) and New York (NY). [Online] Available at: doi.org/10.1017/9781009157896 [Accessed 28 September 2025].
- Morschek, J., König, R. and Schneider, S. (2019), "An integrated urban planning and simulation method to enforce spatial resilience towards flooding hazards", in *SimAUD 2019 – 10th Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, Atlanta, Georgia, April 7-9, 2019*, Society for Computer Simulation International, San Diego (CA), article 10, pp. 1-8. [Online] Available at: dl.acm.org/doi/pdf/10.5555/3390098.3390108 [Accessed 28 September 2025].
- Nava, C. and Melis, A. (2024), "IA generativa e complessità – Verso un nuovo paradigma nel design digitale rigenerativo | Generative IA and complexity – Towards a new paradigm in regenerative digital design", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 40-49. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1632024 [Accessed 28 September 2024].
- Negretto, V., Giacomello, E., Gava, B. and Romanato, N. (2021), *Linee guida per il Drenaggio Urbano Sostenibile – Tecniche e principi per la pianificazione urbanistica*, Corila, Venezia. [Online] Available at: air.iuav.it/retrieve/de164c2b-acdb-60ee-e053-3a05fe0a7787/Linee%20guida%20per

%20il%20drenaggio%20urbano%20sostenibile_web.pdf [Accessed 28 September 2025].

Tucci, F., Cecafosso, V., Altamura, P. and Giampaolletti, M. (2022), "Simulazione e modellazione per l'adattamento e la mitigazione climatica – Esperienze di riqualificazione ambientale a Roma | Simulation and modelling for climate adaptation and mitigation – Experiences of environmental renovation in Rome", in *Agathón – International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 106-121. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12102022 [Accessed 28 September 2025].

Un-Habitat (2024), *Cities and Climate Action – World Cities Report 2024*. [Online] Available at: unhabitat.org/sites/default/files/2024/11/wcr2024_-_full_report.pdf [Accessed 28 September 2025].

UN – United Nations (2015), *Transforming our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development – A/RES/70/1*, United Nations, New York. [Online] Available at: sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication [Accessed 28 September 2025].

Vahid, A., Qaddumi, H. M., Dickson, E., Diez, S. M., Danilenko, A. V., Hirji, R. F., Puz, G., Pizarro, C., Jacobsen, M. and Blankespoor, B. (2009), *Water and climate change – Understanding the risks and making climate-smart investment decisions*. [Online] Available at: documents1.worldbank.org/curated/en/362051468328208633/pdf/529110NWP0Box31ge0web0large01128110.pdf [Accessed 28 September 2025].

Valente, R., Mazingo, L. A., Bosco, R. and Giacobbe, S. (2024), "Gestione integrata delle risorse naturali in contesti urbani sostenibili | Integrated natural resource management in sustainable urban context", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 180-189. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15142024 [Accessed 28 September 2025].

WMO – World Meteorological Organization (2021), *2021 State of climate services – Water*. [Online] Available at: librairy.wmo.int/viewer/57630/download?file=1278_en.pdf&type=pdf&navigator=1 [Accessed 28 September 2025].

Woods-Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Hillman, S., Scott, T., Ashley, R. and Kellagher, R. (2015), *The SUDS Manual*, CIRIA, London (UK). [Online] Available at: ciria.org/CIRIA/Books/Free_publications/C753F.aspx [Accessed 28 September 2025].

Zarcone, R., Nava, F. and Tucci, F. (2024), "Mitigazione del clima e comfort umano – Uno strumento per la modellazione e simulazione di supporto alle decisioni | Climate mitigation and human comfort – A decision-support modeling and simulation tool", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 228-237. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15182024 [Accessed 28 September 2025].